

Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie (EHEI)
Oujda, Maroc



Rue de la liberté, Hay Al Hikma – Oujda

www.eheio.ma

Tél/Fax : 05 36 53 30 75

Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de Production Intégrée (TIPSI'2016)

EHEI- Oujda, Maroc

Les 26, 27 et 28 Mai 2016

<http://www.eheio.ma/tispi16/>

1^{ère}
Edition

Proceedings



Avant-propos

Bienvenue à cette première édition du Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de Production Intégrée Tispi'2016 et la ville d'Oujda.

Ce congrès est organisé par l'Ecole des hautes études d'Ingénierie-Oujda.

La recherche est une préoccupation centrale dans les activités de notre école, ses membres et ses partenaires ; résolument tournés vers les centres d'intérêt des entreprises et le monde socio-économique, se fixent comme objectif fondamental l'enrichissement de la recherche scientifique et de la recherche développement par des programmes précis qui débouchent sur des publications scientifiques, des conférences, des séminaires, des colloques, des congrès ou des brevets.

En effet, la mondialisation du marché, le développement des échanges internationaux, l'évolution de la société, les exigences de plus en plus importantes des clients et l'aspiration à une vie de qualité et un environnement propre, l'économie de l'énergie et la sécurité des personnes et des biens induisent une croissance des systèmes industriels qui deviennent de plus en plus complexes et difficilement maîtrisables.

Pour faire face à cette évolution rapide des besoins des marchés mondiaux, les industriels doivent maximiser les performances de leurs systèmes en production en ayant recours à de nouvelles technologies d'automatisation et d'information, à des méthodes de management industriel et à l'innovation sous tous ses aspects. Les chefs d'entreprise cherchent toujours à proposer et à échanger des solutions adéquates et innovantes contribuant à l'amélioration des performances de leur système de production qui aura comme aboutissement le transfert du savoir, du savoir-faire et des technologies.

Cette première édition du TIPS'2016 vise à rapprocher la communauté scientifique par la présentation de leurs travaux récents, par l'échange de leurs expériences scientifiques et le partage de connaissances acquises dans le domaine de la gestion de production intégrée et les différentes applications des nouvelles technologies de l'information. Cette manifestation scientifique donnera également l'occasion aux chercheurs de présenter leurs travaux récents introduisant de nouveaux outils et concepts, de nouvelles méthodes et démarches dans les thématiques de la production intégrée et des nouvelles technologies de l'information. Ce premier congrès TISPI'2016 sera une plateforme d'échange, de collaboration et offrira l'opportunité aux chercheurs de présenter leurs travaux aux opérateurs industriels du monde socio-économique présents à ce congrès.

Le Comité d'Organisation

Remerciements

La ville d'Oujda, véritable moteur de croissance de la région de l'Oriental, avec l'impulsion de l'Initiative Royale pour le développement de l'Oriental lancée en 2003, apporte son appui et son assistance aux acteurs nationaux et locaux pour la mise en œuvre des programmes qui rentrent dans le contexte de la nouvelle vision du développement régional.

La 1^{ère} édition du Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de Production Intégrée TISPI'2016, organisée par l'Ecole des hautes études d'Ingénierie-Oujda, donne l'opportunité aux entreprises de l'oriental de s'informer sur les nouveautés de la recherche développement dans ce domaine à travers les interventions présentées dans les différentes sessions de cette rencontre.

Les membres du conseil d'administration de l'Ecole des hautes études d'Ingénierie-Oujda expriment leurs remerciements, d'une part, aux membres du comité scientifique pour leurs efforts durant les différentes phases d'évaluation des propositions d'articles et, d'autre part, aux membres du comité d'organisation pour leur dévouement tout au long des périodes de lancement, de préparation et déroulement de ce congrès.

Enfin, nous tenons à remercier vivement les conférenciers et les partenaires pour leur appui et leur soutien apportés à l'organisation de cette manifestation scientifique.

Comité d'honneur

- Le Ministre de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres
- Le Wali de la Région de l'Oriental
- Le Président de l'Université Mohammed Premier
- Le Président du Conseil Régional de l'Oriental

Comité de pilotage

- Pr. Mohammed BARBOUCHA, Président fondateur EHEIO
- Pr. El Miloud AMAMOU, Directeur Pédagogique EHEIO
- Pr. Mouloud. SBAI, Directeur du Centre de Recherche EHEIO

Comité d'Organisation

- Pr. Mohamed BENABID, EHEI Oujda, Maroc
- Dr. Abdelkader BITARI, Agence de l'Oriental Oujda.
- Mr. Faouaz JEFFALI, EHEI Oujda, Maroc.
- Dr. Mohcine KODAD, EHEI Oujda, Maroc.
- Mr. Mohamed Amine BOUZAHAR, EHEI Oujda, Maroc.
- Dr. Nizar GALLOUJ, EHEI Oujda, Maroc.
- Dr. Islam Eddine HADI, EHEI Oujda, Maroc.
- Dr. Tarik HAJJI, EHEI Oujda, Maroc.
- Pr. Hafid JBARA, EHEI Oujda, Maroc
- Dr. Yasser LAMLILI, EHEI Oujda, Maroc.
- Dr. Ouafae MELHAOUI, EHEI Oujda, Maroc.
- Dr. Abderrahmane MOUSSI, EHEI Oujda, Maroc.
- Dr. Rachid NACIRI, EHEI Oujda, Maroc.
- Dr. Adnane NOUAL, EHEI Oujda, Maroc.

Comité Scientifique

- Pr. Omar ANANE, ENSA Oujda, Maroc.
- Pr. El Mamoun AZIZ, EST Oujda, Maroc.
- Pr. Abdelmalek AZIZI, FS Oujda, Maroc.
- Pr. Mohamed AZIZI, EST Oujda, Maroc.
- Pr. Omar BOUCLMA, LSIS Marseille, France
- Pr. Mohammed CHERFAOUI, CETIM, Paris, France.
- Pr. Maryline CHETTO, Université Nantes, France.
- Pr. Mostapha DAOUDI, FS Oujda, Maroc.
- Pr. Abderrahim DOUMAR, Dir CRAT, Sénégal.
- Pr. Imad ELMAHI, ENSA Oujda, Maroc.
- Pr. Abdellah ELMOUDNI, LST Université Belfort, France.
- Pr. Kamal GHOUIMID, ENSA Oujda, Maroc.
- Pr. Denis HAMAD, LISIC Université Calais France.
- Pr. Belkhir HAMOUTI, FS Oujda, Maroc.
- Pr. EL Miloud JAARA, FS Oujda, Maroc.
- Pr. Mohammed JELLOULI, EST Casablanca, Maroc
- Pr. Rachid MALEK, ENSA Oujda, Maroc
- Pr. Ahmed MIR, ENSA Agadir, Maroc
- Pr. Ali MOUSSATI, ENSA Oujda, Maroc
- Pr. Fatima Zahra NQI, ENSA Oujda, Maroc
- Pr. Abdelaziz OUAMRI, USTO Oran, Algérie
- Pr. M'Hamed TAHIRI, ENSM Rabat, Maroc
- Pr. Abderrahmane TOUZANI, Dir CRASTE-LF, Maroc.
- Pr. El Bekkaye ZIANE, ENSEM Casablanca, Maroc
- Pr. Mohammed ZNASNI, ENSA Oujda, Maroc

Conférenciers



Dr. Mohammed CHERFAOUI,

- Doctorat en Sciences des Matériaux, à l'UTC, France
- ISyC Network Réseau de Compétences pour le Maroc
- Responsable Recherche et Développement dans le domaine de l'industrie mécanique (6000 entreprises) ;
- Participe à la définition de la stratégie de recherche et développement ;
- Assure une veille technologique ;
- Anime le réseau de partenariat au niveau national, européen et international.
- 35 ans au service de l'industrie et recherche et développement ;
- Responsable de pôle d'activités (50 ingénieurs et techniciens) dans le domaine des contrôles et équipements sous pression ;
- Direction de programmes de recherche nationaux, européens et internationaux ;
- Expert international et européen en normalisation : ISO, CEN, AFNOR ;
- Plusieurs missions techniques en Europe (Allemagne, Autriche, Angleterre, USA, Canada, Maroc, Tunisie,...)
- Programmes de recherches avec les universités et école d'ingénieurs (Direction de thèses, cours...).



Dr. Fouad BENAMEUR

- Doctorat en Calcul Numérique à l'UTC Compiègne, France
- Fondateur Directeur de la Société WiDeHouse, Conduite d'affaire
- Formateur protocoles de communication sans fil (GSM, GPRS, UMTS, HSUPA, LTE, ...), Développement Informatique
- WAVECOM (Paris France), AFNORDIS (Casablanca Maroc)
- Ingénieur Recherche & Développement au sein de FAVI : Fabricant de pièces automobiles par injection sous pression.
- Coordination des projets de recherche entre Favi et l'UTC.
- Développement software d'un logiciel de simulation et calcul numérique « FaviFlex » pour l'optimisation du comportement thermomécanique des outils de production.
- Etude de comportement de pièces automobiles complexes « fourchettes de boîte de vitesse »
- Maghrenov congés sur la recherche et l'innovation dans le domaine de l'Énergie renouvelable et le Rendement énergétique dans le Bassin méditerranéen
- Le numérique à l'université et les transformations des modes d'enseignement et de transfert des savoirs
- Systèmes électroniques embarqués et automates impacts dans l'industrie et les transports
- Du microcontrôleur au pc embarqué 1st iee conference in mobility, security, and logistics in transport (mslt'11).



Prof. Ahmed RACHID

Ahmed RACHID est né à Casablanca, au Maroc, le 1er Décembre 1960. Il a obtenu un diplôme d'ingénieur en Cybernétique de l'ESSTIN en 1983 (Nancy, France), un Master en Administration des entreprises de l'IAE en 1985, un doctorat en génie électrique en 1986 et l'Habilitation A Diriger des Recherches en 1991 de l'Université de Nancy I.

Il enseigne depuis 1984 dans différentes universités (Nancy, Lyon) et écoles d'ingénieurs (ESSTIN, Ecole Centrale de Lyon, ESIEE) principalement dans les domaines de l'ingénierie de contrôle et de traitement du signal.

Depuis 1992, il est professeur à l'Université de Picardie Jules Verne (France) où il a créé son premier laboratoire dans les systèmes automatiques.

Ses recherches portent sur la modélisation, la simulation, le contrôle, le diagnostic et l'observation des processus et des systèmes avec des applications industrielles : haut-fourneau, dynamique du véhicule, moteur Diesel, moteurs à induction, moteurs pas à pas, incubateur, serre, sustentation magnétique, pantographe-caténaire, CVC, cogénération, véhicules électriques.

Il a supervisé 22 thèses de doctorat. Il est co-auteur de 2 brevets, 2 livres et plus de 140 articles scientifiques et ouvrages collectifs. Il a organisé et présidé plusieurs conférences internationales et a coordonné divers projets de recherche européens et contrats R&D industriels.

Résumés des Conférences Plénières

Première conférence plénière

**La nouvelle révolution de l'innovation technologique industrie 4.0
Exemple de l'impression 3D**

Dr. Mohammed CHERFAOUI
ISyC Network Réseau de Compétences pour le Maroc

cherfaoui@gmail.com

Le 20^{ème} siècle a connu la troisième révolution industrielle tirant sa source de l'électronique et des télécommunications.

Le 21^{ème} siècle connaît plusieurs enjeux et transitions simultanées : environnementale, numérique, énergétique, organisationnelle et sociétale. Ces évolutions majeures donnent naissance à la quatrième révolution industrielle : l'industrie 4.0.

Les technologies et l'innovation jouent un rôle vital dans cette renaissance industrielle. A titre d'exemple la fabrication additive (impression3D), une technologie qui n'en est qu'à ses débuts est entrain de modifier les modèles conventionnels de production ; et de faire émerger de nouveaux systèmes de productions automatiques.

Ce nouveau modèle va donner naissance à des entreprises agiles, innovantes, durables et disposant de modes de production flexibles, ainsi que d'outils de production rapidement reconfigurables. En effet, l'entreprise devra fournir de plus en plus de produits et de services individualisés et compétitifs.

Les entreprises doivent intégrer l'humain au centre de leur dispositif pour prendre en compte les attentes des collaborateurs et attirer les talents. Le monde académique a un rôle, en amont, fondamental dans cette évolution tirée par le numérique qui devient un traceur traversant toute la société.

Nous aborderons dans cet exposé l'ampleur européenne et mondiale de cette révolution industrielle, notamment sous son aspect technologique.

Deuxième conférence plénière

La communication sans fil (objets connectés, sans contact, M2M...) Quelles technologies pour quelles applications.

Dr. Fouad Benameur
Fondateur Directeur de la Société WiDeHouse-Paris(France)

fouad.benameur@widehouse.fr

La communication sans fil est une technologie en plein essor. On citera l'Idate qui prédit 80 milliards d'objets connectés en 2020 à travers de monde générant près de 8.900 milliards de dollars selon Gartner.

Cependant, il nous paraît nécessaire de clarifier ce domaine qui est composé de software et de hardware en utilisant des protocoles radio de communication et le réseau internet.

Ces systèmes interconnectés ne vont pas seulement relier les hommes à leurs ordinateurs et objets du quotidien, mais vont en quelque sorte créer un nouveau monde de produits intelligents et connectés. Leurs domaines d'application sont multiples : l'industrie, l'agriculture, domotique, santé, bâtiments et édifices, transport, etc.

Trois types de systèmes interconnectés se dégagent :

- les objets connectés directement à Internet (et qui stockent leurs données sur des serveurs distants)
- le M2M (Machine to Machine), soit la communication entre machines et l'accès au système d'information sans intervention humaine,
- Les terminaux communicants ("smart connected devices") qui sont les tablettes, les smartphones, les ordinateurs portables ou encore les lunettes connectées (type Google Glass)....

Chaque type d'application nécessite un protocole de communication adapté en fonction de son utilisation, (Bluetooth, RFID, NFC, WiFi, Zwave, le GSM (2/3/4G), etc...)

Ces connexions génèrent un flow de donnée considérable on parle du Big-Data. Des données qu'il faut traiter et stocker dans le "Cloud"

Le succès et le développement fulgurant des objets communicants est généralement lié au fait de connexion non-filaire, au faible coût des produits, à leurs l'utilisation dans des milieux difficiles ou dangereux, etc...

Troisième conférence plénière

Energie : Etat de l'art, développements et perspectives

Prof. Ahmed RACHID
Université de Picardie Jules Verne-Amiens (France)

Rachid.greenway@gmail.com

Dans cette conférence, on commence par des généralités sur les énergies et sur les centrales de production d'électricité. On insistera ensuite sur les systèmes décentralisés utilisés dans la production d'énergie. Un tour d'horizon sera fait sur les énergies renouvelables et leur inscription dans les stratégies nationales énergétiques de différents pays en lien avec les problèmes de pollution et de sources fossiles. Des exemples d'installations et de bonnes pratiques seront exposés.

L'efficacité énergétique sera discutée à travers ses critères en s'appuyant sur les trois grands secteurs de consommation : bâtiment, process, transport, en rapport avec les normes correspondantes. Des exemples et cas pratiques seront donnés pour illustrer certaines solutions et méthodes et pour lister des outils matériels et logiciels utiles.

Le dernier aspect de cette conférence, et non des moindres, sera consacré aux tendances actuelles en termes de R&D au niveau international ainsi qu'aux opportunités et perspectives de développement technique, technologique et socio-économique au niveau du Maroc.

SOMMAIRE

<i>Session 1 : Systèmes de vision artificielle et robotique</i>	ID
Tatouage Robuste des Images Couleurs RGB basé sur une Nouvelle Technique DWT-DCT-SVD I.LASSINI, A.BADRI, K.SAFI, A.SAHEL, A.BAGHDAD FST Mohammedia-Université Hassan II	2
Digit Recognition Using Different Features Extraction Methods KHALID ZINE DINE, M'BAREK NASRI, MIMOUN MOUSSAOUI, SOUKAINA BENCHAOU, FOUAD AOUINTI FS Oujda-Université Mohammed Premier	12
Parametric Analysis and Optimum design of 3 doff Planar Parallel Robot O.HAMDOUN, L. EL BAKKALI and F.Z. BAGHLI FS Tétouan-Université Abdelmalek Esaadi	39
Synthesis of New Structure of a Medical Robot for Tele-echography Application DIKRA EL HAIEK, LARBI EL BAKKALI, BADREDDINE ABOULISSANE, JALAL EL BAHAOUI FS Tétouan-Université Abdelmalek Esaadi	65
A Comparative Study of Position Control of a Robot Manipulator F. Z. BAGHLI, L. EL BAKKALI FS Tétouan-Université Abdelmalek Esaadi	67
The effect of joints clearance on position of the 3 UPU parallel manipulator BADREDDINE ABOULISSANE, LARBI EL BAKKALI, DIKRA ELHAIEK FS Tétouan-Université Abdelmalek Esaadi	74
Parametric Analysis and Optimum design of 3 doff Planar Parallel Robot O.HAMDOUN, F.Z. BAGHLI, L. EL BAKKALI FS Tétouan-Université Abdelmalek Esaadi	75
Algorithme pour mise en place d'un système de recherche par contenu visuel basé sur les histogrammes de motifs binaires locaux (LBP) NAWAL CHIFA, ABDELMAJID BADRI, NAHID MOHAMMED FST Mohammedia -Université Hassan II	47
Reconnaissance automatique des captchas par les courbes B-splines AISSA KARKOUR EL MIAD FS Oujda-Université Mohammed Premier	95
Détection d'objets en temps réel : algorithme surf, implémentation H. HASSNAOUI, A. SAHEL, A. BADRI, M. AKIL, A.BAGHDAD FST Mohammedia -Université Hassan II	7
<i>Session 3 : Energétique et Matériaux</i>	
Use of solar energy in drying process of ceramic A.KHYAD, M. N. BARGACH FS Rabat-Université Mohammed V Soussi	10

**1^{ère} édition du Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de
Production Intégrée Tispi'2016, EHEI Oujda, Maroc**

Compteur d'eau intelligent à faible coût pour une station de pompage photovoltaïque L. ELMAHNI, L. BOUHOUC, A. MOUDDEN FS Agadir-Université Ibn Zohr	21
Surface Modes in a 1D-photonic crystal A.NOUAL Centre de Recherche de l'Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie Oujda	30
Thermodynamic assessment of the Yttrium -Gold binary system D. MOUSTAINE, K. MAHDOUK, S. OTMANI, Z. RAHOU, R.TAMIM FS Agadir-Université Ibn Zohr	31
Contribution à l'optimisation des performances d'une Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA) fonctionnant en mode moteur NAJIB EL OUANJLI, AZIZ DEROUICH, ABDELAZIZ EL GHZIZAL, MOHAMMED TAOUSSI. EST Fès-Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	51
Commande optimale d'un système photovoltaïque par algorithme de colonie d'abeilles artificielle et la technique Backstepping. H. SALMI, A. BADRI, M. ZEGRARI, A. BALLOUK, A. BAGHDAD FST Mohammedia- Université Hassan II	58
Suivie de la station d'épuration d'une zone industrielle (coca-cola) CHERRAK KARIMA, DAFALI ALI. A.ELYOUSSFI FS Oujda-Université Mohammed Premier	19
Contribution à l'optimisation des performances d'un système éolien à vitesse variable du vent MOHAMMED TAOUSSI, MOHAMMED KARIM, BADRE BOSSOUFI, DALILA HAMMOUMI, AHMED LAGRIOUI, NAJIB EL OUANJLI, AZIZ DEROUICH FS Fès-Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	38
Amélioration des performances électriques en régime statique du Transistor Bipolaire à Hétérojonction à base d'InP J. OUCHRIF, A.BAGHDAD, A. SAHEL, A. BADRI, A.BALLOUK FST Mohammedia- Université Hassan II	59
Compromis gain-pertes dans les performances des filtres de Bragg à forte modulation d'indice ABDELAZIZ OUARIACH, KAMAL GHOUIMID, RACHID MALEK, ABDELKRIM NOUGAOUI FS Oujda-Université Mohammed Premier	80
Conception, réalisation et fonctionnement d'un four solaire de type boîte SOFIAN TALBI, RACHID MALEK ET KHALIL KASSMI FS Oujda-Université Mohammed Premier	82
Simulation Monte Carlo des premiers stades du dépôt des couches minces : cas CdTe/GaAs AYOUB BENDAMOU, RACHID MALEK ET KHALIL KASSMI FS Oujda-Université Mohammed Premier	83
Commande et supervision à distance des installations à énergies renouvelables (Photovoltaïque,...) par SMS ILIAS ATMANE, RACHID MALEK AND KHALIL KASSMI FS Oujda-Université Mohammed Premier	84

1^{ère} édition du Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de Production Intégrée Tispi'2016, EHEI Oujda, Maroc

Conception et Modélisation d'un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau Électrique ALI LAMKADDEM, RACHID MALEK ET KHALIL KASSMI FS Oujda-Université Mohammed Premier	86
Conformational comparison between pure and chemically modified agarose A.BENATMANE, M. BENELMOSTAFA & M. DAHMANI FS Oujda-Université Mohammed Premier	87
Thermodynamic reassessment of Gd–Ni system Z. RAHOU, K. MAHDOUK, D. MOUSTAINE, S. OTMANI, R. TAMIM FS Agadir-Université Ibn Zohr	89
<i>Session 8 : Production et Pilotage des performances</i>	
Performance of Fuzzy Real-time System BLEJ MOHAMMED FS Oujda-Université Mohammed Premier	11
Approche bayésienne pour l'évaluation de la fiabilité des systèmes dynamiques MOHYIDDINE HAMAIDIA, FARES INNAL FS Batna-Université Hadj Lakhdar Algérie	13
Le Lean construction appliqué au secteur BTP Marocain un promoteur du développement durable MOHAMED SAAD BAJJOU, ANAS CHAFI FST Fès-Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	14
L'intégration d'une nouvelle technologie de réseau de capteurs intelligents pour la télésurveillance d'un système de production SOUKAINA SADIKI, MOHAMED RAMADANY, DRISS AMEGOUZ EST Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	17
Star-shaped electrical network fault diagnosis by iterative inversion M. OUMRI Université de Picardie Jules-Verne, Amiens-France	24
Concepts de planification industrielle et commerciale et modèles soumis à différents types de contraintes : Revue de littérature NABIL LAHLOUA, ABDELLAH EL BARKANY ET AHMED EL KHALFI EST Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	29
New approach integrating the Health, Safety and Environment (HSE) systems for the maintenance function AHMED BOUNIT, ELHASSAN IRHIRANE AND RACHID BENMOUSSA FS Marrakech-Université Cadi Ayyad	32
Modèles d'Ordonnancement des Systèmes Flexibles de Production : Revue de littérature GHITA LEBBAR, ABDELLAH EL BARKANY ET ABDELOUAHAB JABRI EST Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	37
Les facteurs déterminants de la performance des projets Systèmes d'Information YOUSSEF FAHMIET LOUBNA LAMRINI ENCG Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	41
Problème d'ordonnancement au sein d'un système de production «atelier job shop» : Revue de littérature IMANE MOUTAOUAKKIL, ABDELLAH EL BARKANY ET AHMED EL KHALFI EST Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	54

**1^{ère} édition du Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de
Production Intégrée Tispi'2016, EHEI Oujda, Maroc**

Techniques de gestion du risque de planification du processus de développement d'un produit H. BOULMANE, A. EL BARKANY ET A. JABRI FS Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	57
Proposition d'une démarche pour l'intégration de réseau de capteurs intelligents dans un système de télésurveillance pour un système de production RAMADANY MOHAMED, AMEGOUZ DRISS FS Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	62
Optimisation intégrée de la maintenance et de la production en tenant compte de la sous-traitance AARAB SANAE, EL BARKANYABDELLAH, AHMED EL KHALFI EST Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	71
Étude comparative des modèles de gestion des pièces de rechange BOUNOU OUMAIMA, EL BARKANY ABDELLAH ET EL BIYAALI AHMED EST Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	22
Modélisation des systèmes à événements discrets par Réseaux de Pétri OMAIMA BENATIA ; FOUAD BELMAJDOUB FS Fès-Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	61
Stochastic programming for supplier selection and order allocation under demand uncertainty H. ASSELLAOU, B. OUHBI, B.FRIKH ENSAM Meknès-Université Moulay Ismail	3
Les facteurs déterminants de la performance des projets Systèmes d'Information ELAAKIL RAFIK FST Tanger – Université Abdelmalek Essaadi	46
Une nouvelle caractérisation des parties stables atomiques pour une relation d'ordre partiel : Application au problème d'ordonnancement à une machine. EL MILOUD AMAMOU Centre de Recherche de l'Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie OUJDA	81
Développement d'une méthode ultrasonore pour la caractérisation des défauts dans les rails O. BOUZAOU, A. CHOUAF ENSEM Casablanca-Université Hassan II	85
<i>Session 6 : Simulation et modélisation des systèmes complexes</i>	
DFT investigations on optoelectronic properties of new low gap compounds based on pyran as solar cells materials A. HALLAOUI, A. EL ASSYRY, A. ZARROUK, M. EL HEZZAT, M. ASSOUAG, S. BOUKHRIS ,M. M. EBN TOUHAMI Faculté Polydisciplinaire-TAZA Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	93
theoretical study of molecular properties depending on the photovoltaic parameters of pyridazine derivatives A. HALLAOUI, A. EL ASSYRY1, F. RHAYT, A. ZARROUK, N. BENCHAT, H. OUDDA, B. HAMMOUTI⁴ Faculté Polydisciplinaire-TAZA Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	94
Étude de la qualité des rejets liquides industriels IMANE MERIMI, FOUAD MALEK, BELKHEIR HAMMOUTI FS Oujda-Université Mohammed Premier	77

**1^{ère} édition du Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de
Production Intégrée Tispi'2016, EHEI Oujda, Maroc**

A novel classification system for numeral recognition OUAFAE. EL MELHAOUI, M. ELHITMY, M.BARBOUCHA, S.BENCHAOU Centre de Recherche de l'Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie Oujda	79
Modélisation de l'écoulement d'un fluide "visqueux pur" dans une filière plate par la méthode des éléments finis spectraux isoparamétriques M. EL OUMAMI, O.BOUKSOUR, A. TIZLIOUINE, K.ZARBANE EST Casablanca-Université Hassan II	34
Etude de la sûreté de fonctionnement d'un passage à niveau Marocain par approche Markovienne et par réseaux de Pétri stochastiques EL HOUSSAIN AZOUR, JAOUAD BOUDNAYA, ABDELHAK MKHIDA ENSAM Meknès-Université Moulay Ismail	42
Fluidification des réseaux de Pétri stochastiques EL AKCHIOUI NABIL, BENAYA NABIL FSTH Al Hoceima- Université Mohammed Premier	63
Failure behavior of aircraft composite structures subjected to mechanical loading at variable temperatures MERYEM EL MOUFARI, LARBI EL BAKKALI FS Tetouan – Université Abdelmalek Essaadi	66
Méthode pratique pour l'évaluation de la performance à partir de la modélisation des processus au sein d'une chaîne logistique : application du modèle SCOR 11.0 Y. AZOUGAGH, K. BENHIDA, S. ELFEZAZI EST Safi-Université Cadi Ayyad	68
Mecano-Stochastic Analysis of a Plate ZAKARIA EL HADDAD, LARBI EL BAKKALI, OTHMANE BENDAOU FS Tetouan – Université Abdelmalek Essaadi	70
Modélisation de l'écoulement d'un fluide Newtonien dans une filière plate par la méthode des éléments finis spectraux iso paramétriques M. EL OUMAMI, A. TIZLIOUINE EST Casablanca-Université Hassan II	76
Modélisation et Simulation numérique de l'effet de la température sur la force aérodynamique des éoliennes MOHAMED MOHAMED LEMINE, LARBI EL BAKKALI, ABDEL KADER MAHMOUD FS Tetouan – Université Abdelmalek Essaadi	43
Activité antioxydante et effet inhibiteur de la corrosion d'un acier doux par l'huile essentielle du clou de girofle en milieu HCl FADOUA EL-HAJJAJI, MUSTAPHA TALEB, ABDEFATTAH ABDELLAOUI, FAROUQ AMAL, ABDELOUAHAD AOUNITI, BELKHEIR HAMMOUTI FS Fès- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	92
<i>Session 4 : Systèmes d'informations, Génie logiciel, Data Mining et Big Data</i>	
A new approach for solving the bi-objective orienteering problem using GRASP/VNS HASNAA REZKI, BRAHIM AGHEZZAF FS Casablanca-Université Hassan II	4

**1^{ère} édition du Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de
Production Intégrée Tispi'2016, EHEI Oujda, Maroc**

Simulation Monte-Carlo Gate/Geant4 d'un accélérateur médical sur grille informatique SAMIR DIDI, YAHYA TAYALATIA, MUSTAFA ZERFAOUI, ABDELLILAH MOUSSA FS Oujda-Université Mohammed Premier	20
Quadratic Algorithm to Automatic Evaluation of Candidates in the Adaptive Testing HAJJI TARIK, DOUZI YOUSSEF Université Privée de Fès	25
Réseaux sociaux : vers l'augmentation des interactions et l'élargissement de la diffusion de l'information. MOHCINE KODAD ET EL MILOUD JAARA Centre de Recherche de l'Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie Oujda	26
Web GIS-based application for Geotourism development: the M'Goun Geopark as a case study RACHID LHISSOU, ABDERRAZAK EL HARTI, IMANE FAROUK, EL MOSTAFA BACHAOUI AND ABDERRAHMÈNE EL GHMARI FST Beni Mellal-Université Sultan Moulay Slimane	27
Conception of Intelligent Transportation System using IBM Big Data Solution ADONI WILFRIED YVES HAMILTON FS Casablanca-Université Hassan II	48
La prédiction du taux d'erreur dans les logiciels orientés- objet FATIMA-ZAHRA ELMAZOURI, LOUBNA LAMRINI FST Fès-Université Sidi Mohamed Ben Abdellah	53
Speech Synthesis As A Valuable Aid For Learning Foreign Languages SAALAOUI ZINEB, AIT MOUSSA ABDELAZIZ LARI FS Oujda-Université Mohammed Premier	64
Big Data and finance A.MOUSSI Centre de Recherche de l'Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie Oujda	69
La modélisation structurale des systèmes complexes de grande dimension de type Big Data MOULOUD SBAI, MOHAMMED BARBOUCHA Centre de Recherche de l'Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie Oujda	78
Développement web et compatibilité mobile, critère en hausse pour le référencement Web HAMZA BARBOUCHA ENSA Oujda-Université Mohammed Premier	96
Contribution du Langage Lambda à la Programmation des Machines ISLAM EDDINE HADI Centre de Recherche de l'Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie Oujda	40
New methodology: combining multiobjective algorithm and multicriteria decision to resolve complex problems Lamia ATMA DJOUDI, Anass SBAI and Miguel ROME Synchrone Technologies France	88

**1^{ère} édition du Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de
Production Intégrée Tispi'2016, EHEI Oujda, Maroc**

A new approach to protect SCADA based critical infrastructure against internal and external cybercriminal threats MOUNIA EL ANBAL, ANAS ABOU EL KALAM, SIHAM BENHADOU, FOUAD MOUTAOUAKKIL & HICHAM MEDROMI ENSEM Casablanca-Université Hassan II	5
Fidélité et Applications dans les réseaux Ad Hoc S. BOUJAADA, Y. QARAAI, S. AGOUJIL ET MOHA HAJJAR FST Errachidia-Université Moulay Ismail	28
vers une implémentation fpga d'une fonction de hachage cryptographique S.EL MOUMNI, M.FETTACH, A.TRAGHA FS Casablanca-Université Hassan II	36
Internet des Objets : Visions, Technologies, et Domaines d'Application AMINE RGHIOUI, ABDELMAJID OUMNAD EMI Rabat-Université Mohammed V	44
Sécurité de réseau virtuel dans un environnement cloud sous la plateforme Xen AL HADDAD ZAYED, HANOUNE MOSTAFA, MAMOUNI ABDELAZIZ, BOUKOUCHI YOUNESS FS Ben M'Sik Casablanca-Université Hassan II	55
A Password- Encrypted Key Exchange Protocol Using NTRU TAOUFIK SERRAJ, ABDELMALEK AZIZI AND MOULAY CHRIF ISMAILI FS oujda-Université Mohammed Premier	60
<i>Session 5 : architecture pilotée par la modélisation</i>	
Comparative Study of Software Measurement Meta-models FIRDAOUSSE FATTALAND ABDELAZIZ MARZAK FS Ben M'Sik Casablanca-Université Hassan II	1
MDA pour le développement d'applications mobiles multiplateformes HANANE BENOUDA, REDOUANE ESSBAI, MOSTAFA AZIZI ET MIMOUN MOUSSAOUI FS Oujda-Université Mohammed Premier	15
A Model Driven Architecture Approach to Model Academic Leadership in Higher Education OUALID BETARI, KARIMARRHIOUI, MOHAMMED ERRAMDANI, SAMIR MBARKI EST Oujda-Université Mohammed Premier	23
The Web marketing 3.0 using the MDA approach LAMLILI EL MAZOUI NADORI YASSER Centre de Recherche de l'Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie Oujda	45
A Model Driven Architecture Approach to Model an Emotional Intelligence Test KARIM ARRHIOUI, OUALID BETARI, SARRA ROUBI, MOHAMMED ERRAMDANI, SAMIR MBARKI FS Oujda-Université Mohammed Premier	49
A Model Driven Architecture Approach to Model the Code Igniter PHP Framework KARIM ARRHIOUI, OUALID BETARI, SARRA ROUBI, MOHAMMED ERRAMDANI, SAMIR MBARKI FS Oujda-Université Mohammed Premier	50

**1^{ère} édition du Congrès International sur les Technologies de l'Information et les Systèmes de
Production Intégrée Tispi'2016, EHEI Oujda, Maroc**

Une approche basée sur MDA pour la génération d'un méta-modèle pour la Zakat MAMOUNI ABDELAZIZ, MARZAK ABDELAZIZ, AL HADDAD ZAYED, BOUKOUCHI YOUNESS FS Ben M'Sik Casablanca-Université Hassan II	56
<i>Session 7 : Optimisation et modélisation des systèmes de télécommunications</i>	
A Survey of localization in Wireless Sensor Networks BRAHIM IDHAJOUR, ABDELLAH EZZATI, MOHAMMED FIHRI FST Settat- Université Hassan I	6
Wireless Body Area Networks, an overview. REDA CHEFIRA, SAID RAKRAK FST Marrakech-Université Cadi Ayad	8
Hyperbolic equation solving algorithms for LTE mobile positioning using TDOA measurements. I. EL MOURABIT, A. BADRI, A. SAHEL, A. BAGHDAD FST Mohammedia-Université Hassan II	9
Clustering-based Hierarchy Protocol for Wireless Sensor Networks OMAR MOUSSAOUI, ADLEN KSENTINI EST Oujda-Université Mohammed Premier	16
Amélioration des performances des systèmes multi-antennes par l'utilisation de pré-codage et post-codage BTISSAM BOUSTANI, ABDENNACEUR BAGHDAD, AICHA SAHEL, ABDELHAKIM BALLOUK, ABDELMAJID BADRI. FST Mohammedia-Université Hassan II	18
Conception d'une antenne patch avec une structure DGS pour des applications dans la bande EHF A.ZAIDI, A. BAGHDAD, A. BALLOUK, A. BADRI FST Mohammedia-Université Hassan II	33
Performance of MIMO 2*2 and 4*4 for OFDM-MIMO System Without using Convolution Code over Mobile Radio Channel YOUNES DJEMAMAR FS Marrakech-Université Cadi Ayyad	35
Optimisation et Analyse des Performances de deux Types de Protocole de Routage Dédiés aux Réseaux de Capteurs Sans Fil (WSN) A.MOUIZ, A. BADRI, A. BAGHDAD FST Mohammedia-Université Hassan II	52
Unit-cell behavior of microstrip reflectarray antenna for satellite applications S.FINICH, R.KARLI, N.AMAR TOUHAMI, A. FARKHSI EMI Rabat-Université Mohammed V	72
Synchronization in large scale wireless sensor networks based clustering IHSSANE ZAMMOU, HASSAN AROUDAM FS Tetouan – Université Abdelmalek Essaadi	73

Tableau récapitulatif des résumés des communications et leurs répartitions en sessions :

Session 1 : Systèmes de vision artificielle et robotique	ID : 2-7-39-47-65-67-74-75-12-95
Session 2 : Réseaux et sécurité	ID : 5-28-36-44-55-60
Session 3 : Energétique et Matériaux	ID : 10-21-30-31-51-58-19-38-59-80-82-83-84-86-87-89
Session 4 : Systèmes d'informations, Génie logiciel, Data Mining et Big Data	ID : 4-20-25-26-27-48-53-64-69-40-78-88-91-96
Session 5 : Architecture pilotée par la modélisation	ID : 1-15-23-45-49-50-56
Session 6 : Simulation et modélisation des systèmes complexes	ID : 34-42-63-66-68-70-76-43-92-93-94-77-79
Session 7 : Optimisation et modélisation des systèmes de télécommunications	ID : 6-8-9-16-18-33-35-52-72-73-88
Session 8 : Production et Pilotage des performances	ID : 03-11-13-14-17-24-29-32-37-41-46-54-57-62-71-22-81-85-61

Les articles définitifs retenus seront présentés dans une clef USB. Ces articles feront l'objet d'une double évaluation par les membres du comité scientifique.

Session 1

Systemes de Vision Artificielle et Robotique

Tatouage Robuste des Images Couleurs RGB basé sur une Nouvelle Technique DWT-DCT-SVD

I.ASSINI, A.BADRI, K.SAFI, A.SAHEL, A.BAGHDAD

Laboratoire d'Electronique, Energie, Automatique & Traitement de l'Information (EEATI), Faculté des Sciences et Techniques Mohammedia, Université Hassan II Casablanca,
B.P.146 Mohammedia 20650 Maroc.

assini.media@gmail.com, abdelmajid_badri@yahoo.fr

Résumé—Avec l'évolution des technologies et des connaissances liées à l'informatique, les documents numériques sont devenus de plus en plus utilisés étant donné leur diffusion peu coûteuse et extrêmement rapide. La maîtrise de cette évolution technologique peut engendrer des inconvénients en termes de préservation, de confidentialité et d'authenticité de la transmission des données numériques en général et des images en particulier.

Dans le but de contribuer à la sécurité du partage, au transfert et à l'indexation des images, le tatouage numérique est apparu comme étant une solution alternative et complémentaire pour assurer un accès autorisé, faciliter l'authentification du contenu ou empêcher la reproduction illégale.

Dans cet article, nous élaborons une nouvelle approche de tatouage d'image couleur RGB basée sur la combinaison de trois techniques, Transformée en Ondelettes Discrète, Transformée en Cosinus Discrète et Décomposition en Valeurs Singulières(DWT-DCT-SVD), capable d'augmenter la robustesse du tatouage en termes de qualité et confidentialité.

Mots clés—Tatouage d'image, Sécurité, Robustesse, DWT, DCT, SVD.

I. INTRODUCTION

Le tatouage numérique ou « digital watermarking » est actuellement un domaine de recherche très actif.

Il consiste à insérer une marque invisible dans une image ou d'autres documents numériques, permettant d'assurer un service de sécurité (copyright, intégrité et traçabilité).

Pour qu'un système de tatouage soit efficace il doit satisfaire trois contraintes[1]:

- **Imperceptibilité** :La présence du tatouage doit être invisible.
- **Robustesse**:La détection du tatouage doit être possible même si l'image subit plusieurs traitements.
- **Capacité** :La quantité d'information que l'on veut insérer dans une image, doit être la plus importante possible.

Notre approche se situe alors dans ce cadre et elle consiste à concevoir un système de tatouage qui vise à

améliorer la protection des images couleurs RGB en termes de robustesse, invisibilité et capacité.

II. LES TECHNIQUES UTILISEES DWT-DCT-SVD

A. Transformée en ondelettes discrète (DWT)

La transformée en ondelettes discrète (DWT) [2] décompose une image en quatre sous-bandes, à savoir une sous-bande d'approximation LL et trois sous-bandes de détails: LH, HH et HL, correspondant, respectivement aux détails verticaux, diagonaux et horizontaux.

La lettre H correspond au filtrage passe-haut et la lettre L à celui du passe-bas appliqué de façon séparable sur les lignes et les colonnes. La décomposition de la sous-bande d'approximation LL permet d'obtenir une représentation sous forme pyramidale.

Pour insérer le tatouage nous modifions les coefficients DWT dans la bande de LL:

$$LLw(i,j) = LL(i,j) + \alpha kW(i,j), \quad i,j = 1, \dots, n$$

B. Transformée en cosinus discrète (DCT)

La transformation DCT [3] de l'image est effectuée avant d'insérer la marque. Il sélectionne ensuite une séquence de l'image dans des régions perceptuellement significatives en prenant les composantes DCT les plus grandes. Dans cette séquence est alors insérée la marque pour obtenir une nouvelle séquence.

La nouvelle séquence est ensuite réinsérée dans l'image originale pour obtenir l'image marquée.

Le calcul de la transformée discrète en cosinus d'une image x de dimensions $N \times N$ s'effectue grâce à la formule:

$$DCT(m,n) =$$

$$\frac{1}{\sqrt{2N}} c(m) \cdot c(n) \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} x(k,l) \cos\left(\frac{(2k+1)m\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2l+1)n\pi}{2N}\right)$$

$$c(m) = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{si } i = 0 \quad \text{and} \quad 1 \quad \text{si } i > 0$$

C. Décomposition en Valeurs Singulières (SVD)

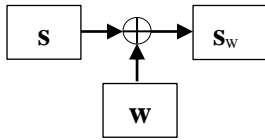
La décomposition en valeurs singulières (SVD) [4] repose sur le fait qu'il existe une matrice carrée U unitaire de taille m et une matrice V unitaire de taille n telles que :

$$U \times I \times V = S$$

Où S est une matrice dont les r premiers termes diagonaux sont positifs et les autres étant nuls. On note σ les valeurs singulières de I :

$$S = \begin{pmatrix} \sigma_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \sigma_n \end{pmatrix}$$

On utilise la matrice S des valeurs singulières de l'image hôte pour insérer les bits de la marque.



III. NOTRE APPROCHE

L'objectif de cet article est de présenter et d'analyser une nouvelle technique basée sur la combinaison de trois techniques DWT, DCT et SVD, dont le but ultime est d'augmenter la robustesse du tatouage en termes de qualité et confidentialité.

A. Algorithme d'insertion

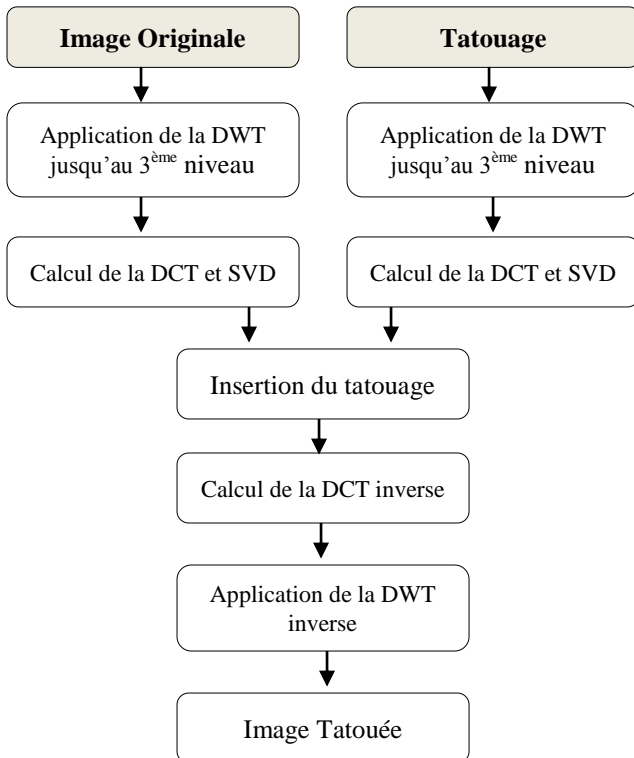


Fig.1. Phase d'insertion du tatouage par la technique DWT-DCT-SVD

1. La décomposition en ondelettes de l'image originale et du tatouage jusqu'au 3^{ème} niveau pour avoir les sous-bandes (LL_3, LH_3, HL_3, HH_3) et ($LL_{w3}, LH_{w3}, HL_{w3}, HH_{w3}$) respectivement.
2. Décomposition des sous-bandes d'approximation LL_3 et LL_{w3} en trois composantes couleurs R, G et B.
3. Application de la DCT sur chaque composante R, G, B des deux sous-bandes LL_3 et LL_{w3} .
4. Application de la Décomposition en Valeurs Singulières SVD et insertion du tatouage.

$$S_{IWR} = S_{IR} + \alpha * S_{WR}$$

$$S_{IWG} = S_{IG} + \alpha * S_{WG}$$

$$S_{IWB} = S_{IB} + \alpha * S_{WB}$$

Tel que α : Facteur de pondération.

5. Calcul de la DCT inverse et DWT inverse pour avoir l'image tatouée.

B. Algorithme d'extraction

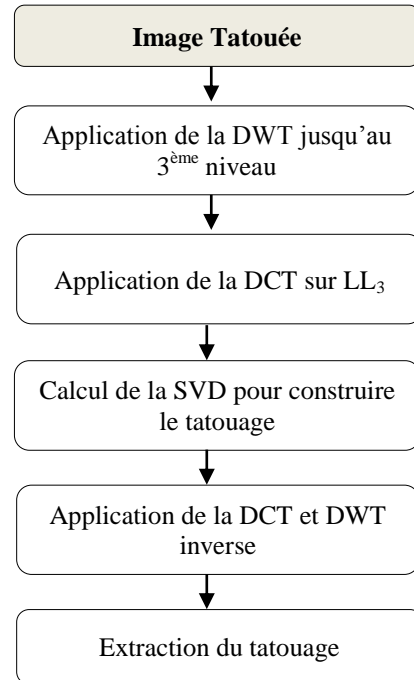


Fig.2. Phase d'extraction du tatouage par la technique DWT-DCT-SVD

1. La décomposition en ondelettes de l'image tatouée jusqu'au 3^{ème} niveau pour avoir les sous-bandes ($LL'_3, LH'_3, HL'_3, HH'_3$).
2. Décomposition de la sous-bande d'approximation LL'_3 en trois composantes couleurs R', G' et B' .
3. Application de la DCT sur chaque composante R', G', B' de la sous-bande LL'_3 .
4. Application de la Décomposition en Valeurs Singulières SVD et extraction du tatouage.

$$W_R = (S_{IWR} - S_{IR}) / \alpha$$

$$W_G = (S_{IWG} - S_{IG}) / \alpha$$

$$W_B = (S_{IWB} - S_{IB}) / \alpha$$

5. Calcul de la DCT et DWT inverse pour l'extraction du tatouage.

IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Nous avons appliqué notre technique de tatouage sur l'image Lena de dimension (512x512). La simulation a été réalisée sous Matlab R2013b.

Pour évaluer les performances de notre approche plusieurs paramètres sont pris en considération tels que : l'erreur quadratique moyenne, le rapport signal bruit et le coefficient de corrélation.

A. Outils d'évaluation

▪ Le MSE : Medium Square Error

Le MSE [5] représente l'erreur quadratique moyenne entre l'image tatouée et celle originale :

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i,j) - I'(i,j)]^2$$

I et I' sont respectivement l'image originale et l'image tatouée de taille $M \times N$.

▪ Le PSNR : Peak Signal Noise Ratio

Le PSNR [6] est une fonction du MSE. Il permet de déterminer la variation qu'a subit l'image. En d'autre terme la dégradation de l'image originale provoquée par l'insertion de la marque, par la compression de l'image ou par une autre attaque.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{MSE} \right]$$

▪ La Corrélation

La détection du tatouage est basée sur la corrélation [7]. En fait, le tatouage de référence doit avoir une forte corrélation avec le tatouage extrait sans ou après divers attaques.

$$cor = \langle W, W' \rangle =$$

$$\frac{\sum_M \sum_N (W_{MN} - \bar{W})(W'_{MN} - \bar{W}')}{\sqrt{(\sum_M \sum_N (W_{MN} - \bar{W})^2)(\sum_M \sum_N (W'_{MN} - \bar{W}')^2)}}$$

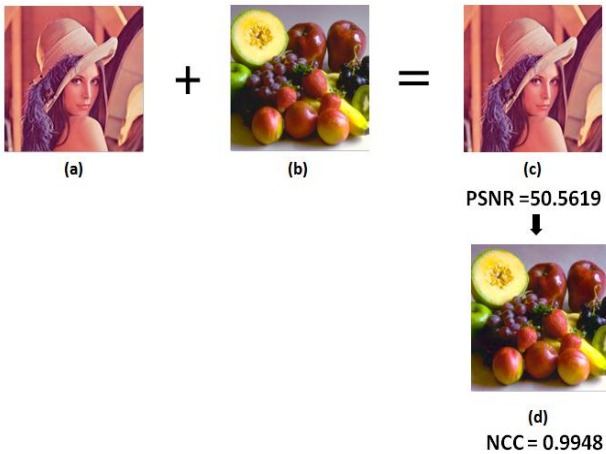


Fig.3. Insertion et Extraction du tatouage par la technique DWT-DCT-SVD. (a) : image originale ; (b) : Tatouage ; (c) : Image tatouée ; (d) : Tatouage extrait.

B. Imperceptibilité

L'imperceptibilité du tatouage est mesurée en calculant le PSNR entre l'image originale et l'image tatouée.

L'insertion de la marque par la technique proposée DWT-DCT-SVD [8] lui confère une bonne invisibilité.

La figure 3 montre l'application de notre méthode qui n'entraîne aucune dégradation perceptible sur l'image tatouée.

C. Robustesse

Pour tester et vérifier la robustesse de notre algorithme de tatouage, des attaques ont été appliquées sur l'image tatouée (figure 4) : filtre moyenneur, correction gamma, Bruit gaussien, bruit poivre et sel, égalisation d'histogramme, ajustement d'intensité.



Fig.4. (a): filtre moyenneur ; (b): correction gamma, (c): bruit gaussien, (d): poivre et sel, (e): égalisation d'histogramme, (f): ajustement d'intensité.

TABLE I: Corrélation entre tatouage et tatouage extrait après attaque

Attaques	DWT	DWT-SVD	DWT-DCT-SVD
Average filtering	0.0647	0.0878	0.1791
Gamma	0.0304	0.0592	0.4142
Gaussian noise (0.5)	0.0158	0.4213	0.5568
Histogram Equalization	0.1341	0.3540	0.7226
Salt & Pepper noise	0.3822	0.6185	0.8091
Intensity adj	0.0147	0.5158	0.8892

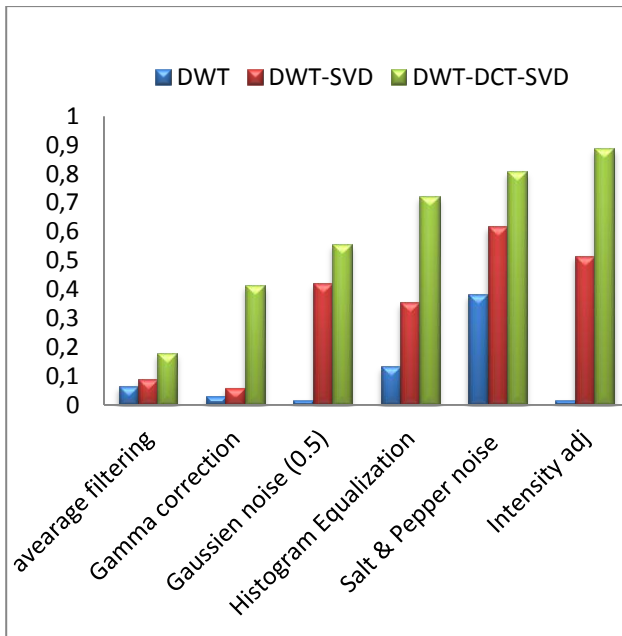


Fig 5. Corrélation entre tatouage et tatouage extrait après attaque (graphe).

La figure 5 et la table 1 présentent les variations du coefficient de corrélation entre le tatouage extrait et le tatouage de référence pour les différentes méthodes testées (DWT, DWT-SVD[9] et DWT-DCT-SVD) et dans différentes conditions d’attaques.

Les résultats obtenus mettent en évidence la robustesse de notre approche et fournissent des résultats encourageants par rapports aux autres techniques.

V. CONCLUSION

Cet article présente une nouvelle méthode de tatouage d’images couleurs innovante basée sur la combinaison de trois techniques DWT, DCT et SVD.

De nombreux tests ont permis de mettre en évidence notre technique proposée, elle a l’avantage de permettre d’insérer une quantité importante d’informations sans gêner la qualité de l’image, ainsi que sa robustesse face à divers attaques par rapport aux deux autres techniques (DWT et DWT-SVD). Nos futurs travaux consisteront à améliorer la performance de cette méthode et à renforcer sa robustesse, avec des applications à l’imagerie médicale.

REFERENCES

- [1] I.Assini, A.Badri, K.Safi “Adaptation of Different Techniques on Digital Image Watermarking in Medical Domain: A review”, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering (IJARCSSE), Volume 5, Issue 12, December 2015.
- [2] JIANG-BIN ZHENG, SHAFENG “A color image multi-channel DWT domain watermarking algorithm for resisting Geometric Attacks” Proceedings of the seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kunming, 12-15 July 2008.
- [3] Prabhishkek Singh, RS Chadha, “A Survey of Digital Watermarking Techniques, Applications and attacks”, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2– Issue 9, March 2013.

- [4] Henri Bruno Raza_ndradina, Paul Auguste Randriamantsoa “Tatouage robuste et aveugle dans le domaine des valeurs singulières”, JMATIC, 2008, pp.1-15.
- [5] Sachin Mchta, Rajarathnam Nullusamy, Ranjeet vinayak Marawar, BalakrishnanPrabhakaran “A study of DWT and SVD based watermarking Algorithms for patient Privacy in Medical Image” 2013 IEEE International conference on Healthcare Informatics.
- [6] K.chaitanya, DrE.Srinivasa Reddy, Dr.K.GangadharaRao, “Digital Color Image Watermarking In RGB Planes Using DWT-DCT-SVD coefficients”, International Journal of Computer Science and Information Technologies, vol.5(2), 2014, 2413-2417.
- [7] Ali Khalfallah, FahmiKammoun, Mohamed Salim Bouhlel “Nouvelle méthode de tatouage dans le domaine multirésolution à base d’ondelette 5/3 : Notion de famille de signatures relatives”, 3rd International Conference : Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications March 27-31, 2005-TUNISIA.
- [8] K.A.Naves ;M.C.Ajay ; M.Lekshmi ;T.S.Archana, “DWT-DCT-SVD based watermarking”, Communication Systems Software and Middleware and Workshops, 2008.
- [9] I.Assini, A.Badri, K.Safi “Technique Hybride de compression pour le tatouage des images” 8^{ème} édition de la Rencontre Nationale des Jeunes Chercheurs en Physique (RNJCP8-2015) -FS Ben M’sik -21/22 Décembre 2015-Maroc.

Objects Tracking in Real Time : SURF algorithm, implementation

H. HASSNAOUI¹, A. SAHEL¹, A. BADRI¹, M. AKIL²

¹Laboratoire d'Electronique, Electrotechnique, automatique & Traitement de l'Information (EEA & TI),
Faculté des Sciences et Technique – Mohammedia, B.P. 146 Mohammedia 20650 Maroc

Université Hassan II – Casablanca, Maroc

²ESIEE-Paris, 93162 Noisy-le-Grand Cedex

Hicham.hassnaoui@gmail.com, abdelmajid_badri@yahoo.fr, sahel_ai@yahoo.fr

Abstract — The high-dynamic-range imaging (HDRI) is a set of techniques to achieve a wide range of dynamic in an image. Our job is to implement such feature matching algorithms to analyze the content of the HDR image in real time and their implementation on mobile platforms. We started our work by studying and analyzing feature matching algorithms, to highlight the most appropriate implementation technique for our case. In this paper we propose a technique of implementation of the SURF method (speeded Up Robust Features), for purposes of recognition and object tracking in real time. This is achieved by the realization of a GUI (graphical user interface) when we can select (or capture) an image containing the object to be tracked, and the scene captured by the live webcam. Our algorithm recalculate at each instant, the SURF descriptor for the two images to detect the similarity therebetween, and then matching between similar objects. This paper presents experimental results on a set of evaluation images as well as images obtained in real time.

Keywords— High dynamic range, Feature matching, HDR, mobile platforms, SURF

I. INTRODUCTION

In order to simulate the human visual system by the machine, computer vision is the science that adopts this study in order to recognize objects in a scene in real time.

The study is based on the detection of interest regions in a digital image, which is to highlight areas that considered interesting in an image, to analysis and feature extraction in these areas by descriptors containing more information about each point of the image to find the similarity between images. This technique aims to find an object in an image, or a scene in real time.

The goal of this work is the detection and object tracking by an implementation of existing interest points descriptors such SURF algorithm.

II. RELATED WORK

The first idea of Interest Point Detectors proposed back in 1988, was Harris corner detector [1] based on the eigenvalues of the second-moment matrix. However, Harris corners are not scale-invariant. The concept of scale invariant introduced by Lindeberg [2]. His work based on the determinant as well as a trace of Hessian matrix. Mikolajczyk and Schmid provide scale-invariant feature detectors using Harris-Laplace and Hessian-Laplace [3]. Lowe [4] approximated the Laplacian of

Gaussian (LoG) by a Difference of Gaussians (DoG) filter. Lowe [5] proposed his algorithm SIFT, that computes a histogram of local oriented gradients around the interest point and stores the bins in a 128-dimensional vector (8 orientation bins for each of the 4×4 location bins). Inspired by SIFT a SURF method proposed by H. Bay et al [11]. The detector is based on the Hessian matrix, and uses a basic approximation (Laplacian-based detector). It relies on integral images to reduce the computation time [11].

Our approach In this paper, we propose an implementation of SURF applied for tracking objects in real time. First, we present a theory of SURF as explained by its authors but in short. Then we explain our implementation using vb.net language with emgucv library.

III. INTEREST POINTS DETECTION BY SURF

A. Fast-Hessian Detector

SURF detector is based on the Hessian matrix because of its good performance in computation time and accuracy [11]. Given a point $x = (x, y)$ in an image I , the Hessian matrix $H(x, \sigma)$ in x at scale σ is defined as follows:

$$H(x, \sigma) = \begin{pmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{pmatrix}$$

where $L_{xx}(x, \sigma)$ is the convolution of the Gaussian second order derivative $\partial^2/\partial x^2 g(\sigma)$ with the image I in point x , and similarly for $L_{xy}(x, \sigma)$ and $L_{yy}(x, \sigma)$. In practice, however, the Gaussian needs to be discretized and finite. On the next image you can see the partial derivatives of the Gaussian. First finite and discretized (the two left images) and then approximated by a 'box filter' in the directions y and xy . The gray areas are zero.

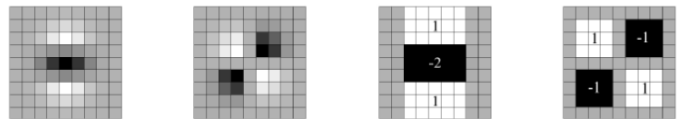


Fig 1: partial second derivatives of the Gaussian [11]

The approximation of the determinant of the Hessian matrix calculated in a point x of the image is stored in a “blob response map” and then local maxima are searched to find blobs.

It is interesting to find different scales to interest points to make the detector invariant to scale changes. This is often taken into account by creating a pyramid of images.

Each level of the pyramid represents a different scale. SURF can proceed differently through the box filters. Instead of successively applying the same filter to the output image filtered and sub-sampled, we can use box filters of various sizes directly on the original image. The “blob response maps” to different scales are constructed by enlarging the filter rather than repeatedly reducing the image size. This allows one hand to reduce the computation time and also prevent aliasing due to under - sampling of the image. The left image of the figure below shows the classical method with sub-sampling filter and constant size. On the right image filters vary in size.

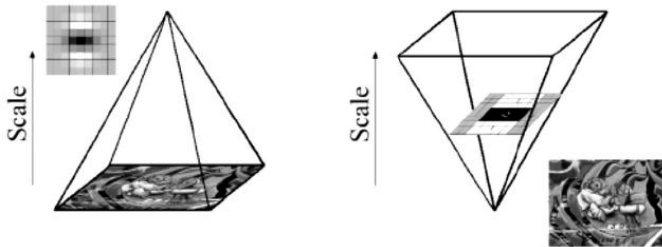


Fig. 2: multiscale detection [11]

Scale spaces in SURF are implemented by applying box filters of different sizes. The output of the above 9×9 filter is considered as the initial scale layer, to which we will refer as scale $s=1.2$ (corresponding to Gaussian derivatives with $\sigma=1.2$). Specifically, this results in filters of size 9×9, 15×15, 21×21, 27×27, etc.

In searching for the maxima of the “blob response map” at different levels; we can now extract the position and size of the blobs in the image.

B. Local neighborhood descriptor

The goal of a descriptor is to provide a unique and robust description of an image feature by describing the intensity distribution of the pixels within the neighbourhood of the point of interest. A description is obtained for every point of interest identified previously.

C. Orientation

In order to achieve rotational invariance, the orientation of the point of interest needs to be found. Bay et al. used The Haar wavelet responses in both x- and y-directions within a circular neighbourhood of radius $6s$ around the point of interest are computed, where s is the scale at which the point of interest was detected. The dominant orientation is estimated by calculating the sum of all responses within a sliding orientation window of size $\pi/3$. The horizontal and vertical responses within the window are summed. The two summed responses then yield a local orientation vector. The longest such vector overall defines the orientation of the point of interest.

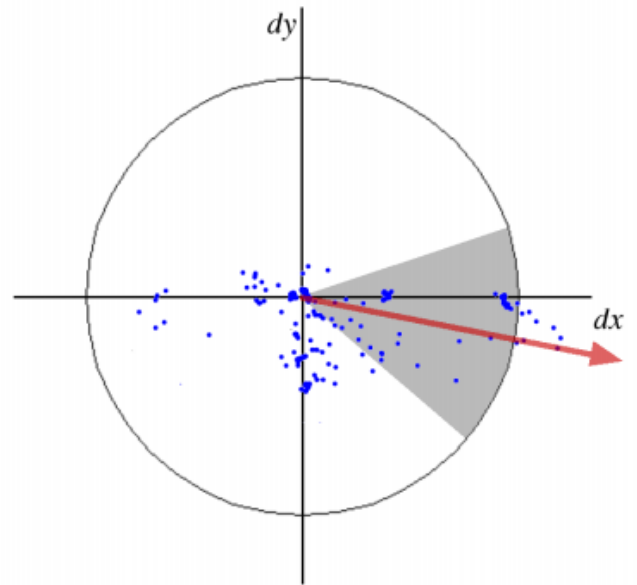


Fig. 3: Orientation assignment: A sliding orientation window of size $\pi/3$ detects the dominant orientation of the Gaussian weighted Haar wavelet responses at every sample point within a circular neighbourhood around the interest point. [11]

D. Matching

By comparing descriptors obtained from different images, matching pairs can be found.

IV. IMPLEMENTATION

We base our algorithm on the SURF descriptor because of its good performance in computing time. SURF library functions operator is written by its inventors, available for free use in the OpenCV libraries and EmguCv. We have developed an application VB.net based on this descriptor to locate an object in an image or in a real sequence. Screenshots are shown in Figure 4:



Fig. 4a: Detection of a query image in a fixed scene picture

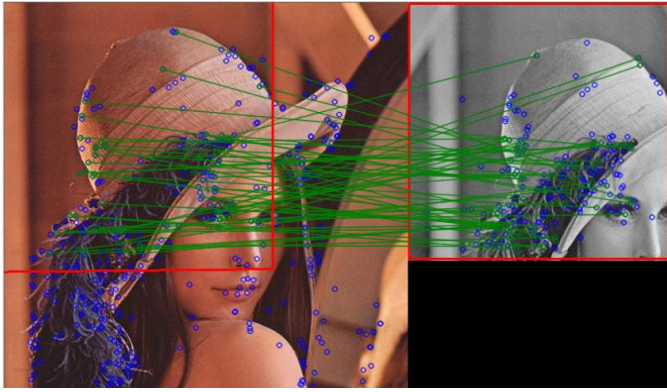


Fig. 4b: Detection of a query image in a fixed scene picture

We start with inserting (or capture) of the query image to follow (right picture figure 4) , then we have the choice between inserting the scene picture (left picture figure 4) or capturing by the webcam, and in which one seeks the predefined object .

The program calculates for each image the SURF descriptor to detect interest points (blue circles Figure 4). Similar zones in the two images will be joined by matching lines (green color lines Figure 4), finally, framing the object found by a rectangle (red Figure 4).



Fig. 5: Detecting a captured image in a scene in real time

V. CONCLUSION AND OUTLOOK

In order to detect and track an object, in a manner similar to human vision, by machine, we presented a SURF implementation method for object tracking application. This implementation aims to find and track objects using a webcam and a computer. We chose SURF because it is scale and rotation invariant, fast and performant interest point detector. The application of the algorithm gives satisfactory results.

To make the algorithm more convenient for practical use:

- We are currently developing an application, to implement SURF feature matching detector on a mobile platform.
- Developing rendering HDR application to implement such feature matching algorithms to analyze the content of the HDR image in real time and their implementation on mobile platforms.

References

- [1] C. Harris and M. Stephens. A combined corner and edge detector. In Proc. Fourth Alvey Vision Conference, pages 147–151, 1988.
- [2] Lindeberg, T.: Feature detection with automatic scale selection. IJCV 30(2)(1998) 79 – 116
- [3] Mikolajczyk, K. Interest point detection invariant to affine transformations. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble. 2002.
- [4] Lowe, D.G. Object recognition from local scale-invariant features. In Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision, Kerkyra, Greece, pp. 1150–1157. 1999.
- [5] David G. Lowe, «Distinctive image features from scale-invariant keypoints », International Journal of Computer Vision, vol. 60, no 2, 2004, p. 91–110
- [6] Brown, M. and Lowe, D.G. Invariant features from interest point groups. In British Machine Vision Conference, BMVC 2002, Cardiff, Wales (September 2002), pp. 656-665. 2002.
- [7] T. Lindeberg. Feature detection with automatic scale selection. International Journal of Computer Vision (IJCV), 30(2) :77{116, 1998.
- [8] Tony Lindeberg et Lars Bretzner, « Real-time scale selection in hybrid multi-scale representations », dans Proceedings of the 4th international conference on Scale space methods in computer vision, vol. 2695, Berlin, Springer-Verlag, 2003
- [9] D.G. Lowe, « Local feature view clustering for 3D object recognition », IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Kauai, Hawaii, 2001, pp. 682-688.
- [10] Hans Moravec. Obstacle avoidance and navigation in the real world by a seeing robot rover. In tech. report CMU-RI-TR-80-03, Robotics Institute, Carnegie Mellon University and doctoral dissertation, Stanford University, number CMU-RI-TR-80-03. September 1980.
- [11] Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features", Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol. 110, No. 3, pp. 346--359, 2008.
- [12] Y. Ke and R. Sukthankar, "PCA-SIFT: A More Distinctive Representation for Local Image Descriptors," Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 511-517, 2004.

Algorithm for setting up a content-based image retrieval based on the histograms of local binary patterns (LBP)

N.Chifa, A.Badri¹, Y.Ruichek², A.sahel¹, A.Safi¹

¹EEA&TI laboratory, Hassan II University of Casablanca Faculty of Sciences and Techniques (FSTM)
(B.P. 146 Mohammedia 20650 Maroc)

²IRIES-SET-UTBM-90010 Belfort Cedex, France

Abstract—Perform an image search system based on the visual aspect, requires an expertise in computer vision, especially as regards the extraction of image descriptor. This paper presents an effective search system based on image division and extraction of color, texture, descriptors of each block, and extracts the histogram gradient from entire image in order to have a local and global aspect for each image. These characteristics will be stored and compared with those of the query image by using the Euclidean and Minkowski distance. The performance of this system is evaluated with a precision and recall factors. Experimental results show a good performance.

Keywords: Retrieval image, Combination descriptor, image block, color histogram HSV, descriptor.

I. INTRODUCTION

Research on content-based image retrieval (CBIR) has gained great progress during the last decade. Image search systems usually deal with extracting visual features, often the color, shape and texture; we use these features in order to provide a comprehensive description of the images [1]. However, these fail when we want to consider the semantics of the objects described in the image [2].

To overcome this problem, in the following work, we will focus on the extraction of local descriptors images, precisely the LBP descriptor, and methods of division image to extract the global (texture and color) features from every region, while exploring different methods of connections between them and by conducting a comparative study of these methods on the results.

In this paper, our work is organized as follows. In Section 2 we present the method of segmentation and techniques used to extract and combine descriptors. In Section 3 we introduce the experimental results over two type of base image. In Section 4 conclusions are drawn.

II. TECHNIQUES AND METHODS USED

Several extraction methods of visual descriptors have been proposed for visual recognition. These image description methods often depend on the applications used. The distinguished descriptors reflecting the overall visual appearance of an image, such as color histogram [3], color moments [4], the co-occurrence matrix [5], edge histogram [6], and so on. These features are extracted from the whole of an image and don't give information for the specific region of image. In These global features, unlike in the comprehensive local approaches, methods of local description are intended to describe the content of the image locally. They thus offer the ability to perform a search on a part of the image or on an object present in the image. The idea of local image descriptors is to extract features from local image region center. This approach involves cutting or segmenting the image into regions of interest. Many different local image descriptors have been proposed such as SIFT [8], PCA-SIFT [7], SURF [9], the local binary pattern operator (LBP) [10]. In our system, we divide every image of the dataset to blocks and we extract the LBP and color histogram from each block, then we contain the vector to obtain the global signature of image, this approach will be well detailed in the paragraphs below.

A. Feature Extraction:

A.1. Histogram Color:

In our system, the database images are color images. Algorithms calculate histograms of color are easy to implement with a very short turnaround time, introducing invariance to rotation and translation. However, these histograms have no spatial information on the colors of the positions [2] [11], but in our algorithm we overcome this problem by using an image division method for extracting aggregate information partially and collect them later in the same order (left to right, and top to down)

Since the color histogram is sensitive to small changes in brightness, which is problematic if we want to compare similar images acquired under different conditions, we opted for the HSV color space and we have merged this descriptor with the LBP descriptor [12] as will be described in the following paragraphs.

A.2. Histogram local binary patterns:

The operator of the local binary patterns (LBP) was proposed in the late 90s by Ojala [13]. Extraction of LBP features is efficient and with the use of multi-scale filters; invariance to scaling and rotation can be achieved. The idea of this texture operator is to assign to each pixel a dependent code grayscale. The gray level of the center pixel (i_c) of coordinates (x_c, y_c) is compared with its neighbors (i_n) using the following equation. Figure 1 gives an example:

$$\text{LBP}(x_c, y_c) = \sum_{n=0}^p s(i_n - i_c) \quad (1)$$

$$s(i_n - i_c) = \begin{cases} 1 & \text{if } i_n - i_c \geq 0 \\ 0 & \text{if } i_n - i_c < 0 \end{cases}$$

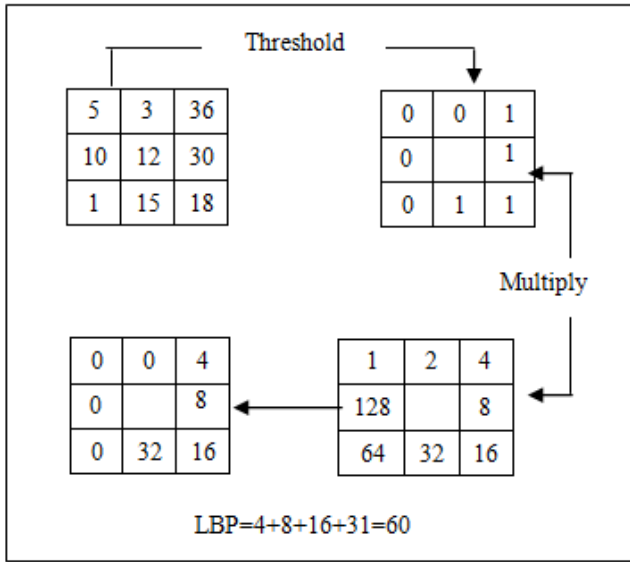


Fig.1 Example for calculation the LBP operator

Where p is the number of neighboring pixels. In general, we consider a neighborhood of 3×3 where $p = 8$ neighbors. So we get, as an image to grayscale, a matrix containing LBP values between 0 and 255 for each pixel. A histogram is calculated based on these values to form the LBP descriptor.

For our descriptor, we used the uniform LBP, which extracts the most fundamental structure from the LBP. A LBP descriptor is considered to be uniform if it has **at most** two $0-1$ or $1-0$ transitions. For example, the pattern 00001000 (2 transitions) and 10000000 (1 transition) are both considered to be **uniform patterns** since they contain at most two $0-1$ and $1-0$ transitions. The pattern 01010010 on the other hand is *not* considered a uniform pattern since it has six $0-1$ or $1-0$ transitions.

Based on this, we propose using those nine uniform patterns that have a U value of at most 2 (00000000, 00000001, 00000011, 00001111, 00011111, 00111111, 01111111,

01111111, and 11111111). These nine patterns correspond to 58 of the 256 original unrotated patterns that can occur in the 3×3 neighborhood. Remaining patterns are accumulated into a single bin, resulting in a 59-bin histogram.

B. Combination of descriptors:

In the beginning we divided every image into blocks, for our system we use 16 blocks as shown in figure 2, and then we extract the descriptor from each one block. Then in the first time we extract just the histogram color, and in the second we extract the LBP feature, and we evaluated the results of each method, and then to overcome the limitations imposed by each descriptor, we combined the two methods by concatenating the vectors of descriptors and standardizing. And for the calculation of similarity between vectors we used the Euclidean and Minkowski distance which proved very optimal for comparing vectors and histograms [14].

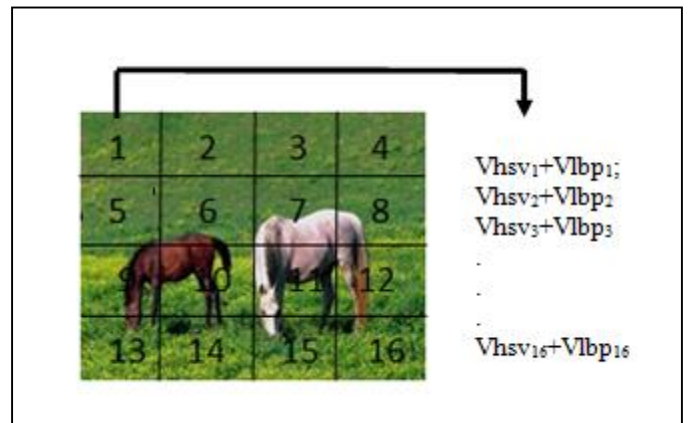


Fig2: Division image to block and extract HSV and LBP histogram from each block, and concatenate All of them

- **Phase1** : we divide image to 16 blocks and convert each block in the first to HSV to extract the histogram HSV, then convert the block to gray to extract the histogram LBP:

$$\text{Hist1} = \{\text{Hist}_{hsv1} + \text{hist}_{lbp1}\}$$

$$\text{Hist2} = \{\text{Hist}_{hsv2} + \text{hist}_{lbp2}\}$$

⋮

$$\text{Hist16} = \{\text{Hist}_{hsv16} + \text{hist}_{lbp16}\}$$

- **Phase2** : We put the histogram in vector and concatenate the 16 vector to have the visual signatures of the image

$$V_{\text{image}i} = \{V_{1i}, V_{2i}, V_{3i}, \dots, V_{16i}\}$$

- **Phase3**: Repeat the phase1 and phase2 to each image in the dataset and indexed every vector by the name of the image :

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_{\text{image1}} &= \{V_{11}, V_{21}, V_{31} \dots V_{161}\} \\ \mathbf{V}_{\text{image2}} &= \{V_{12}, V_{22}, V_{32} \dots V_{162}\} \\ &\vdots \\ \mathbf{V}_{\text{imagen}} &= \{V_{1n}, V_{2n}, V_{3n} \dots V_{16n}\} \end{aligned}$$

- **Phase4:** choice the query image, and extract her visual signature with the same method applied to the image of dataset, then compare the vector of query image to those stored in the file according to the Euclidean or Minkowski distance , and return images with zero minimum distance to see the query image.

III. EXPERIMENTAL RESULTS:

To evaluate our methods described above, we have set up an image search system for two dataset; the first one is a gathering of nature scenes classified according to several themes: The Simplicity dataset is a subset of COREL image dataset. It contains a total of 1000 images, which are equally divided into 10 different categories (Figure3), and the second database contains 810 texture images from nine materials KTH-TIPS-b dataset (Figure4), the system return 25 similar images to the query image. To measure the quality of image search system content, parameters precision and recall are conventionally used [15]. Let A_i represents all relevant image results for a given query and B_i represents all the images result returned by the system. We define:

The precision as the ratio between the number of relevant images retrieved and number of images found:

$$P_i = (A_i \cap B_i) / (B_i)$$

The recall as the number of relevant images found on the number of images relevant:

$$R_i = (A_i \cap B_i) / (A_i)$$

Our system is designed to return 25 picture following a query image; for each query we calculate the average retrieval precision (ARP):

$$ARP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

Where N is the size of testing category in dataset.



Fig3: The Simplicity dataset is a subset of COREL



Fig4: KTH-TIPS-b dataset

Table 1 shows the precision rate for each method , we observe better performance for the combined descriptor on both databases (78%), however the individual use of LBP descriptor gives only (59,2%) and block HSV(63,6%). Figure5 illustrates an example query image that found similar results for the combination method.

Table1 Comparison of the ARP values obtained by the proposed method with the standard Corel dataset Image

Descriptors	Block based colorLBP	Block based Histogram HSV	Block based HSV+LBP
Africa	0,7	0,72	0,94
Beach	0,3	0,5	0,58
Building	0,52	0,42	0,61
Bus	0,78	0,48	0,96
Dinosaur	1	0,98	1
Elephant	0,4	0,52	0,61
Flower	0,52	0,72	0,78
Horse	0,68	0,96	0,98
Mountain	0,54	0,38	0,58
Food	0,48	0,68	0,78
Average :	59,2%	63,6%	78,2%



Fig5: Example for query image and the 25 image result with our algorithm combination

The same method was applied on the basis of the texture again. Our combination method has shown very effective results with an important average value (94%) compared to (60% and 77%) for the others methods extracting, as shown in table 2

Table2: Comparison of the ARP values obtained by the proposed method with the texture dataset

Descriptors	Block based colorLBP	Block based Histogram HSV	Block based HSV+LBP
Materials			
Sandpaper	0,76	0,96	1
Aluminum	1	1	1
Styrofoam	0,42	0,9	0,98
Sponge	0,44	0,32	0,56
Corduroy	0,42	0,72	0,8
Linen	0,68	0,92	0,96
Brown bread	0,63	0,41	0,74
Cracker	0,45	0,9	0,92
Orange peel	0,72	1	1
AVERAGE	60%	77%	94%

IV. CONCLUSION AND PERSPECTIVES:

In this communication, we focused on the implementation of a new approach combining descriptor and dividing image to block; for the realization of a retrieval image.

The technique of dividing image allowed us to overcome the problem of spatial information caused by the global distribution of the histogram LBP and histogram color. Extracting descriptor from blocks return partial and local information. Furthermore a merger of descriptors carried out in our research system has shown a visible improvement rate in statistical data.

The effectiveness of a descriptor depends largely on the type of data and their heterogeneity, and the proposed combination in this work proved to be quite satisfactory and can give more performance on other types of base image. Our system can be improved by combining different kinds of descriptor and integrating efficient indexing methods.

V. REFERENCES

- [1] M. Singha and K.Hemachandran Content Based Image Retrieval using Color and Texture Signal & Image Processing : An International Journal (SIPIJ) Vol.3, No.1, February 2012
- [2] Shamik Sural, Gang Qian and Sakti Pramanik «Segmentation and histogram generation using the HSV color space for image » IEEE ICIP 2002
- [3] M.J Swain, D.H Ballard, Color indexing, International Journal of Computer Vision 7 (1) (1991)11-32
- [4] M.A Stricker, M.Orengo, Similarity of color image, in Proc. Of storage and Retrieval for Image and Video Databases, 1995, pp .381-392
- [5]M. Tuceryan, A.K. Jain, Texture analysis, Handbook of pattern Recognition and Computer Vision, 2nd edition, World Scientific Publishing Co.,1998, pp.20-248
- [6] D.K. Park, Y.S. Jeon, C.S. Won, Efficient use of local edge histogram descriptor, in Proc of ACM workshops on Multimedia, 2000, pp. 51-54.
- [7] D.G. Lowe, Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision 60 (2) (2004) 91-110.
- [8] Y. Ke, R. Sukthankar, PCA-SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors, in Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 2, 2004, pp. 506-513.
- [9]H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, L.V. Gool, SURF: speeded up robust features, Computer Vision and Image Understanding 110 (3) (2008) 346-359.
- [10] T. Ojala, M. Pietikainen, D. Harwood, A comparative

study of texture measures with classification based on feature distribution, *Pattern Recognition* 29 (1996) 51-59.

[11] R. Brunelli, O. Mich : On the Use of Histograms for Image Retrieval, *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, vol. 2, p. 143-147(1999)

[12] OJALA T., PIETIKÄINEN M., MÄENPÄÄ T.: Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *Pattern Recognition*. Vol. 24, Num. 7 (2002), 971–987

[13] W. Ben Soltana, A. Porebski, N. Vandenbroucke, A. Ahmad & D. Hamad: Contribution des descripteurs de texture LBP à la classification d'images de dentelles, *Article RI 2014*

[14] Herveé Jégou, Matthijs Douze, Cordelia Schmid: Exploiting descriptor distances for precise image search, [Research Report] RR-7656, INRIA. 2011-18pages

[15] Jing Yu a, ZengchangQin a,n, TaoWan b, XiZhang, « Feature integration analysis of bag-of-features model for image retrieval » *Neurocomputing*120(2013)355–364

Synthesis of New Structure of a Medical Robot for Tele-echography Application

D. EL HAIK, L. EL BAKKALI, J. EL BAHAOUI, B. ABOULISSANE

Modeling and Simulation of Mechanical Systems Laboratory

Abdelmalek Essâadi University, Faculty of Sciences

Tétouan, Morocco

dikra_elhaiek@hotmail.com

Abstract—Robots have been and continue to be essential components of medical field due to its higher accuracy and precision. Among many types of medical applications such as ultrasound diagnostic systems that are widely used because of their convenience and safety. This paper describes a new robot architecture of medical manipulator system for tele-echography application. The proposed robot consists of using a five-bar linkage mechanism and spherical wrist in order to produce the movement required by the application. To verify that the robot generate desired movement, a simulation of workspace was presented. Furthermore, the evaluation of the kinematic manipulability of the linkage mechanism was given in order to determine the best postures and the best points of translation module in the workspace.

Keywords—*tele-echography; five bar linkage; spherical wrist; workspace; manipulability*

I. INTRODUCTION :

The use of robots in medical application is an evolving field that focuses on improving the precision and accuracy of medical gestures by taking the best from robots and humans[1].

Recently a wide variety of medical applications have emerged, one of these applications is tele-echography that aim to provide an exam of echography from a distant site due to difficult access to medical experts for patients located in isolated site. This technique of ultrasound diagnosis employ robot to hold a probe on the patient's skin during an examination [2]-[3]. The principle of this technology first proposed by Sublett et al. [4].

Up to now, various types of tele-echography manipulators have been reported, in 1997, the Syrtech system was created by Gourdon et al. [5] for heart examination, this prototype has achieved great success, it is a serial robot with 3 degree-of-freedom dedicated for the rotational movements of the probe. Salcudean et al. [6] developed a 6-DOFs serial link based on parallelogram linkage in order to generate remote-center motion about a fixed point on the patient's skin. Masuda et al. [7] developed hybrid robot for abdominal examination which consists of gimbal, pantograph and slide mechanisms, this system is installed at the bed. Mitsuishi et al. [8] used circular guides to build a 7 degrees of freedom robot.

In France, after Syrtech project two robots were designed by the Vision and Robotics Laboratory for abdominal examination. The Teresa project [9] and the European Otelo project in 2001 [10], these robots are based on similar kinematic structure, a serial spherical wrist with intersecting joint axes. Troccaz et al [11] designed a TER system which consist of using two parallel kinematic architectures, the first one is installed on the patient's bed that allows translation motion, the second architecture enabling the orientation of the probe. In 2006, a French robotic company Robosoft commercialized Estele robot [12]. Gonzalez et al. [13] from Autonomous University of the State of Mexico developed a mechanism based on two subsystems having the same concept of TER robot [11] by using circular sliders.

In 2010, a 4 degree of freedom robot were designed by Keiichiro et al. [14] in Japan, it is portable system in ambulance or at injury scene used for patients who suffer from internal bleeding and located away from hospital center.

Recently, Najafi [15] proposed parallel mechanisms with 4 degrees of freedom to perform ultrasound imaging, it has has a remote center-of-motion which is characterized by parallelogram kinematics.

Considering all the above, a different architectures kinematics have been proposed in the literature to produce motion required by the application by using parallel or serial architecture. These robots feature a remote center of rotation [16], it provide large angular mobility about a single point. Our proposed robot is based on hybrid kinematic structures to exploit the advantageous features of the parallel and serial architecture in order to satisfy ultrasound moving requirements.

This paper is structured as follows: section 2 presents the global specifications of system, section 3 describes the proposed kinematic architecture of tele-echography robot, this part consists of present two main components of the proposed robotic system which are the translation module and the orientation module, also it focus on the study of the manipulability measure and workspace visualizations, the last section is dedicated to conclusion and perspectives.

II. ROBOT MECHANICAL SPECIFICATION :

In designing the tele-echography manipulator, various factors are required. During ultrasound examination, the specialist try to place the probe over the organ to be explored, then, he move it around the point of contact with patient's body, this contact point must be kept until the end of the exam. In order to achieve the best incidence between the plan of the ultrasound waves of the probe and the organ the probe axis should be move inside a conical space Fig 1.

In addition, a translation along the axis of the probe is necessary in order to control the strength applied to the skin by the probe. Finally, a displacement of the probe on the plan of the body is desirable which enables the translational motion.

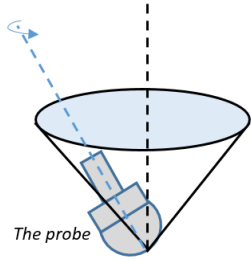


Fig.1. The needed workspace of the probe

III. ROBOT KINEMATICS STRUCTURE :

The above specifications have led us to develop mechanism that decouple rotational and translational movements of probe. The overall system consists of two parts, the first one allows a plan translation, the second one is the wrist that generate a spherical motion of the probe. Moreover, sometimes it is needed to apply a force for the probe to push abdomen of the patients, this exerted force allows to provide clearer ultrasound image, for this reason we have to add a translation joint along the probe axis.

A. Translation Module :

It consists of using a five-bar linkage mechanism mounted in horizontal plane which allows the displacement of the probe on the patient plane. There are in fact only two degrees-of-freedom R1 and R2, The others joints are passive.

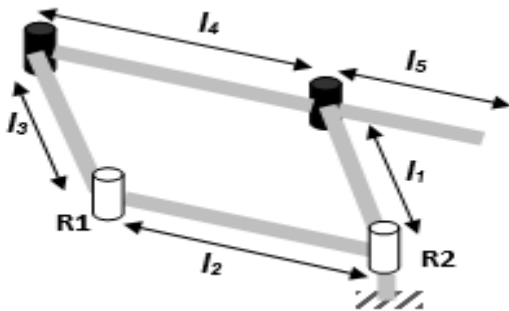


Fig. 2 . Five-bar linkage

The expression of direct kinematic model is:

$$x = l_1 \cos(q_1) - l_5 \cos(q_2) \quad (1)$$

$$y = l_1 \sin(q_1) - l_5 \sin(q_2) \quad (2)$$

Where:

$q = [q_1 \ q_2]^T$ Denote the vector of joint coordinates.

$p = [x \ y]^T$ is the operational coordinates vector.

- Workspace of Translation Module:

The workspace area covered by the robot is computed numerically using direct kinematic model which is a crucial criterion in determining manipulator geometries.

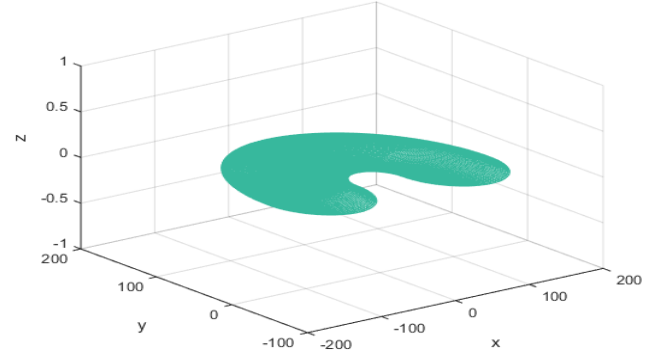


Fig. 3 . workspace of five bare linkage

It can be seen from the figure that the workspace obtained allows the expert to adjust the position of the contact point above the organ to be investigated.

- The manipulability measure :

In order to study the efficiency of the translation module, it is essential to determine some quantitative measure of their performance. One of various measures is the manipulability which is the ability of changing the position and orientation of the end-effector, this concept of manipulability measure were proposed by Yoshikawa [17] in order to compute the capability of a robot manipulator. In this part, some properties of this measure and its utilization for determining the best postures of mechanism are discussed.

The manipulability for nonredundant robot manipulators is defined as:

$$w = |\det J| \quad (3)$$

Where J is the Jacobian of the manipulator.

For redundant robot manipulators is:

$$w = \sqrt{\det(JJ^T)} \quad (4)$$

The Jacobian matrix of five-bar linkage is given by:

$$J = \begin{bmatrix} -l_1 \sin q_1 & l_5 \sin q_2 \\ l_1 \cos q_1 & l_5 \cos q_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

The manipulability measure is given as follows:

$$w = |-l_1 l_5 \sin(q_1 + q_2)| \quad (6)$$

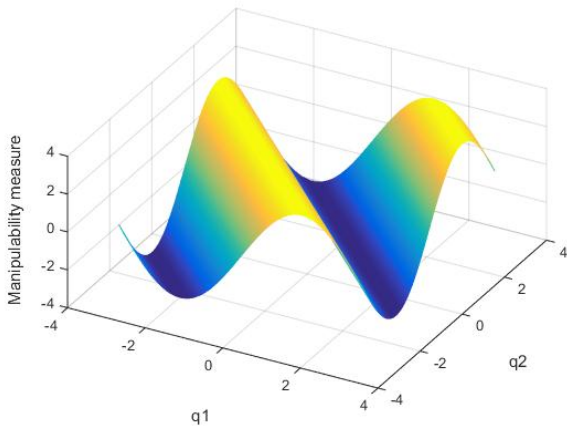


Fig. 4 . Manipulability measure of translation module versus the angle of rotation of the first joint, and second joint.

For the five bar mechanism, the manipulability measure versus the angle of rotation of the first joint, and seconde joint is shown in Fig. 4. The mechanism can achieve complete gross motion at the highest points of manipulability measure.

The contour analysis in terms of the manipulability measure is shown in Fig. 5. The withe parallel lines are the best regions in which the mechanism achieves complete geometric. At the same time, the bleu lines, which separate the workspaces, show the singular points.

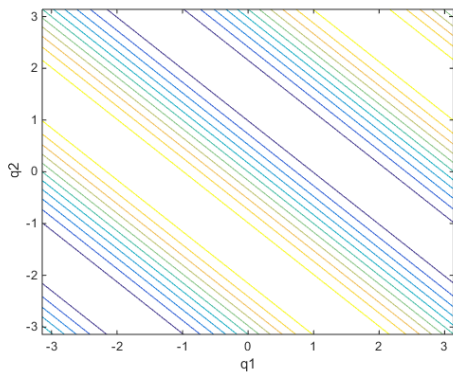


Fig. 5 . The contour analysis in terms of manipulability measure.

Considering the above results, we focus on determining the optimal value of manipulability and the optimal configuration that globally maximizes this index using a program in matlab.

The optimal value $w^* = 3$ which is obtained at the configuration $(q_1^*, q_2^*) = (1.5784, 3.1384)$ [rad]

B. Orientation Module :

For our proposed robot, it's not necessary to use remote center of motion wrist because of their central singularity, In this case we have two proposed structures of wrist, each consisting of three revolute joints R1, R2 and R3, Their advantage is to eliminate the classical singularity and to make the mechanism simple. The wrist is attachable to the translation module.

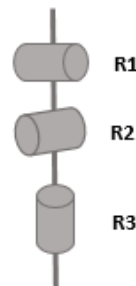


Fig. 6 . wrist 1

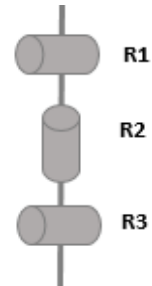


Fig. 7 .wrist 2

An appropriate workspace simulation of the mechanism is necessary in order to know if these configuration satisfy the requirements of the application.

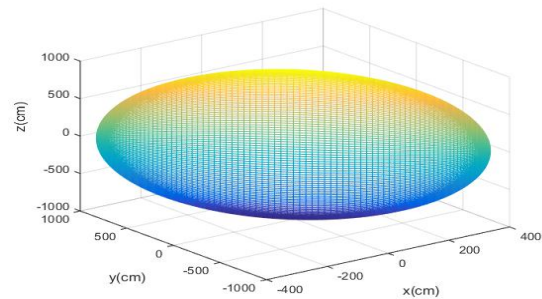


Fig 8 . Workspace of wrist 1

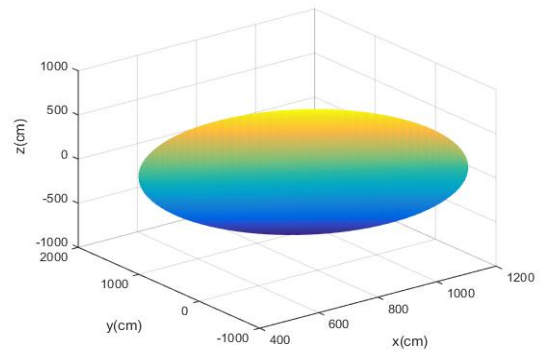


Fig. 9 . Workspace of wrist 2

From the figures we note that the workspace obtained of two types of the wrist can satisfy the needs workspace of the probe as mentioned above.

IV. CONCLUSION :

In this paper, we present the proposed robot of tele-echography application. The simulation of workspace was found in order to verify that the architecture can produce the movement required by the application. We also represent the evaluation index of manipulability that allows to provide the ability of the system in positioning and orienting, this analysis can be used to determine the best posture from the optimal value of the manipulability. Once the kinematics structure have been proposed, further work will consider performance evaluation of robot based on the study of singularities and the global condition index to ensure a good design.

References :

- [1]. Cleary, Kevin. "Medical robotics and the operating room of the future." *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference of the. IEEE, 2006.
- [2] Najafi F and Sepehri N. A robotic wrist for remote ultrasound imaging. *Mech Mach Theory* 2011; 46:1153–1170.
- [3] A. Fenster, D.B. Downey, 3-D ultrasound imaging: a review, *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* 15 (6) (1996) 41–51.
- [4] J.W. Sublett, B.J. Dempsey, A.C. Weaver, Design and implementation of a digital tele-ultrasound system for real-time remote diagnosis, *Proc. IEEE Symposium on Computer-Based Medical System*, 1995, pp. 292–298.
- [5] A. Gourdon, Ph. Poignet, G. Poisson, P.Vieyres, P. Marché. A new robotic mechanism for medical application. ASME, USA, 1999.
- [6] S. E. Salcudean, G. Bell, S. Bachmann, W. H. Zhu, P. Abolmaesumi, and P. D. Lawrence, "Robot-assisted diagnostic ultrasound — Design and feasibility experiments," in *Proc. of Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention*, 1999, pp. 1062–1071.
- [7] K. Masuda, E. Kimura, N. Tateishi, K. Ishihara, Three dimensional motion mechanism of ultrasound probe and its application for tele-echography system, *Proc. IEEE/RSJ, International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2001, pp. 1112–1116.
- [8] Mitsubishi M, Warisawa S, Tsuda T, et al. Remote ultrasound diagnostic system. *ICRA 2001*; 2: 1567–1574.
- [9] P. Vieyres, G. Poisson, F. Courrèges, O. Méridgeaux, Ph. Arbeille. The TERESA project; from space research to ground tele-echography. *Industrial robot; an international journal*, ISSN; 0143 991X, vol. 30, n° 1, pp. 77-82, 2003.
- [10] C. Delgorge, F. Courrèges, L. Al Bassit, C. Novales, C. Rosenberger, N. Smith-Guerin, C. Brù, R. Gilabert, M. Vannoni, G. Poisson, P. Vieyres. A tele operated mobile ultrasound scanner using a light weight robot. *IEEE Transactions on Innovation Technology in Biomedicine*, ISSN 1089-7771, Vol. 9, n°1, pp. 50-58, Mars 2005.
- [11] A. Vilchis, J. Troccaz, P. Cinquin, K. Masuda and F. Pellissier "A new robot architecture for tele-echography," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol19, No.5, 2003.
- [12] Arbeille P, Ruiz J, Herve P, et al. Perrotin. Fetal teleechography, using a robotic arm and a satellite link. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 26: 221–226.
- [13] V. Gonzalez, G. Torres, TERMI robot, *Proc. IEEE Fourth Congress of Electronics, Robotics and Automotive Mechanics*, 2007, pp. 464–469.
- [14] Keiichiro I, Shigeki S and Hiroyasu I. Wearable echography robot for trauma patient. *IROS*, 2010; pp. 4794–4799.
- [15] NAJAFI, Farshid et SEPEHRI, Nariman. A robotic wrist for remote ultrasound imaging. *Mechanism and Machine Theory*, 2011, vol. 46, no 8, p. 1153-1170.
- [16] H.R. Taylor, D. Stoianovici, Medical robotics in computer-integrated surgery, *IEEE Trans. Robot. Autom.* 19 (5) (2003) 765–781.
- [17] T. Yoshikawa, Manipulability of robotic mechanism, *The International Journal of Robotics Research* 4 (2) (1985).
- [18] Dikra El Haiek, Larbi El Bakkali, J El Bahaoui. Kinematic analysis of spherical robots. *Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées*, Dec 2015, Tanger, Morocco.

Reconnaissance Automatique des CAPTCHAs Par Les Courbes B-splines

Un exemple des succès et des limites de la vision par ordinateur est l'utilisation des images dans les systèmes de type CAPTCHA destinés à la lutte contre les robots sur : le principe consiste à demander à l'utilisateur de reproduire des lettres déformées sur des images bruitées.

Dans cet article nous proposons un modèle statistique non linéaire et invariant par transformations affines permettant d'apprendre un objet moyen (représenté par des points), sa variabilité et les relations spatiales existantes entre les différentes caractéristiques de l'objet étudié. Nous mettons ici un formalisme permettant d'unifier les notions de point et de forme, en approximant les formes par des courbes de Bézier composites. L'ensemble de cette méthodologie a été évalué en 200 images captcha dans le cadre de la modélisation de points et de structures anatomiques. En se concentrant sur un site particulier, les meilleurs programmes atteignent des taux de reconnaissance de l'ordre de 20% à 30%. Une augmentation de taux de reconnaissance de notre système de l'ordre 26.89% a été constatée.

Mots-clés : robotique autonome, CAPTCHA, B-splines, La Reconnaissance de Formes

Session 2

Réseaux et Sécurité

Fidelity and its applications in the Ad Hoc networks

S. BOUJAADA ¹, Y. QARAAI ¹, S. AGOUJIL ¹ and M. HAJAR ²

E3MI ¹ and ROI ² teams
Computer Science ¹ and Mathematics ² Departments
Faculty of Sciences and Technologies,
B.P. 509 Boutalamine 52000 Errachidia, Morocco.
boujaada.sara@gmail.com ¹, qaraai_youssef@yahoo.fr ¹, agoujil@gmail.com ¹,
moha_hajjar@yahoo.fr ²

Abstract— Security is an essential component for the Ad Hoc network. In order to provide security against attacker of the black hole type, we propose a protector control named "PC-AODV-BH" in order to neutralize the effects of malicious nodes. Such a protocol is obtained by coupling hash functions, digital signatures and fidelity concept. Simulation will be performed using NS2 simulator basing on two performance metrics. A comparison between PC-AODV-BH and SAODV will be given by varying the number of malicious nodes.

Keywords— Ad Hoc, Black hole, Security, Fidelity, NS2.

I. INTRODUCTION

The Ad Hoc network is a self organizing network that consists of mobile nodes that are capable of communicating with each other without the help of fixed infrastructure. On the contrary to traditional wired networks that use copper wire as a communication channel, Ad Hoc networks use radio waves to transmit signals [1].

Mobility, an advantage of wireless communication, gives a freedom of moving around while being connected to a network environment. The Ad Hoc networks are so flexible that nodes can join and leave a network easily. But this flexibility of mobile nodes results in a dynamic topology that makes it very difficult in developing secure Ad Hoc routing protocols [1].

The routing aims to provide a strategy which guarantees, at any time, the connection between any pair of nodes belonging the network. The routing strategy must take into account the changes of topology and also the other characteristics of the Ad Hoc network such as band-width, number of links, network resources [2]. Moreover, the method adopted must offer the best routing of data. The routing protocol in a mobile Ad Hoc network can be categorized into two classes: proactive (definition of the routes in advance) and reactive (it is with the request that the route will be defined) [3].

Security being a serious issue, the nature of Ad Hoc networks makes them extremely vulnerable to adversary's malicious attacks. The use of wireless links renders a mobile Ad Hoc

network to be vulnerable to attacks of various types, black hole attack being one of them [4].

The traditional mechanisms of security and some protocols are not directly applicable and require a suitable securing in the Ad hoc networks. Several researches explored a variety of mechanisms to answer the problems of data security, and a certain number of secure routing protocols have been suggested in order to prevent different types of attacks (TAODV, ARAN and TESLA [6, 5, 7]).

In this work, we are interested with the problem of controlling the data routed through AODV in the presence of such a disturbance. This is the protector Control of AODV protocol [8] facing the black hole attack. This control is achieved by a coupling of the security mechanisms (digital signatures, hash functions) with the concept of fidelity associated with the nodes in the considered network.

The organization of this paper is as follows: In section 2 we give an overview of the AODV routing protocol and the black hole attack. In section 3 after dealing with this we describe the SAODV protocol and the new protocol PC-AODV-BH. The last section will be devoted to the simulation tests by considering some metrics, while varying the number of black hole attacks. A comparison of PC-AODV-BH and SAODV protocols will be made to test the effectiveness of introduced control.

II. BACKGROUND

This section provides a brief recall on the reactive AODV routing protocol and also a preview of the black hole attacks.

A. AODV Protocol

AODV [9] is a reactive routing protocol. It uses destination sequence numbers to ensure the freshness of routes and guarantee loop freedom. To find a path to a destination, a node broadcasts a route request (RREQ) packet to its neighbours using a new sequence number. Each node that receives the

broadcast sets up a reverse route towards the originator of the RREQ unless it has a fresher one.

When the intended destination or an intermediate node that has a fresh route to the destination receives the RREQ, it uncast a reply by sending a route reply (RREP) packet along the reverse path established at intermediate nodes during the route discovery process. Then the source node starts sending data packets to the destination node through the neighboring node that first responded with an RREP. When an intermediate node along the route moves, its upstream neighbours will notice route breakage due to the movement and propagate a route error (RERR) packet to each of its active upstream neighbors.

B. Black Hole Attack

A black hole attack [10] is a kind of denial of service attack where a malicious node can attract all packets by falsifying claiming a fresh route to the destination and then absorb them without forwarding them to the destination. There is two Types of black holes

Single Black Hole Attack: For this type only one malicious node attack on the route.



Fig 1: Single Black hole attack

Co-operative Black Hole Attack: Co-operative Black Hole means the malicious nodes act in a group.

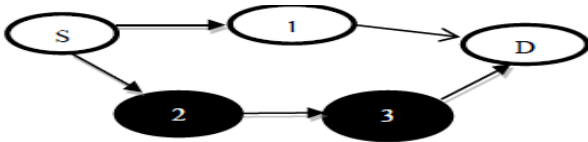


Fig 2: Co-operative Black hole node

III. SECURE ROUTING PROTOCOLS

Security is an important issue for Ad Hoc networks, especially for those security-sensitive applications. To secure an Ad Hoc network, we consider the following attributes: Integrity to guarantee that the messages of routing exchanged between the entities were never corrupted. Authentication to verify the identity of an entity or a node in the network and the non-repudiation to verify that the sender and recipient are parties that they say have respectively sent or received the message [11]. The vulnerability of an Ad Hoc network may take place once the latter is the subject of an attack. Malicious nodes can perform many types of attacks for the dysfunction of the network, especially at the time of the routing information

between the mobile equipments. In our case, the routing is assumed to be provided by the AODV protocol which is subject to a black hole attack. The presence of this kind of attack degrades the performances in terms of security and efficiency. In this study we compared our protocol PC-AODV-BH [8] with SAODV one.

A. SAODV Protocol

The SAODV routing protocol proposed by Zapata [12] is an extension of the AODV routing protocol that can be used to protect the route discovery mechanism, based on public key cryptography. SAODV routing messages (RREQs, RREPs, and RERRs) are digitally signed to guarantee their integrity and authenticity. In SAODV, digital signatures are used to authenticate RREQ and RREP messages and hash chains are used to authenticate the hop count fields within the RREQ and RREP messages, the hop count information is only changeable information in the packets. A hash chain is formed by applying a one-way hash function repeatedly to a seed (Random number). SAODV assumes that each Ad Hoc node has a pair signature key from a suitable asymmetric crypto system. Furthermore, each Ad Hoc node is capable of securely verifying the association between the address of a given Ad Hoc node and the public key of that node. The hop count information is only changeable information in the packets. However, the use of hash chains does not make it possible to prevent all the attacks on the number of hops. Also, although the hash hop count prevents a prospective malicious node to announce shorter routes that in reality, nothing prevents an attacker to increase arbitrarily the length of the routes. Indeed, such a node can apply the hash function several consecutive times before relaying a packet, then the route appears longer than it is in reality. Thus, among the disadvantages of SAODV is that nothing prevents a node from increasing a hop count arbitrarily or leaving it unchanged. Malicious nodes can acquire routes by consistently declaring high hop counts. A malicious node (black hole for instance) can impersonate another node while forwarding a RREP to acquire routes. In addition, in the event that there are several attackers accomplices, an attack of type black hole can always be launched and the number of hops can even be decremented on arrival, in a transparent way for the other nodes. Hence, encryption solution approaches do not address packet dropping by a black hole node.

B. PC-AODV-BH protocol

The PC-AODV-BH protocol is recently proposed by [S. and all] to select and maintain the safer routes for the routing data while neutralizing the effect of malicious nodes trying to cooperate within the network to disturb its operation. The contribution of PC-AODV-BH protocol to improve the security of AODV is a simple idea considering the consistency of secure AODV protocol (SAODV) in terms of cryptographic tools, but its connections with the fidelity of nodes has opened other ways such as the comparison between the two protocols in terms of efficiency facing the black hole disturbance. This

protocol is obtained by coupling hash functions, digital signatures and fidelity concept.

The role of a hash chains is to authenticate the hop count of RREQ and RREP messages in such a way that allows every node that receives the messages (either an intermediate node or the final destination) to verify that the hop count has not been decremented by an attacker. This kind of function is very much used in cryptography, mainly in order to reduce the size of data to be processed by the encryption function. Indeed, the main feature of a hash function to produce a hash data is to say a condensate of these data. This digest has a fixed size and which the value differs depending on the function. Among the usual functions, we can cite (MD4, MD5, SHA-1 and SHA-2) [13].

Digital signatures are used to protect the integrity of the non-mutable data in RREQ and RREP messages. That means that they sign everything but not the hop count of the AODV messages and the Hash from the SAODV extension. The main problem in the application of the digital signatures is that a RREP generated by an intermediate node should be signed by the final destination. To remedy this problem, SAODV has two types of signatures as the single (SS) and double (DS) signature. The SS is used to send a RREP request of the destination and the DS is used for sending the route response from the intermediate nodes, if it has enough new roads. SS is applicable in the initial route discovery process because it is impossible to have enough routes by intermediate nodes. If disturbances occurred during the data transmission process, the source node resets the route discovery process. Moreover, the time to generate the RREP be it from the destination or from the intermediate nodes, and the signing process are applicable and also the treatment steps of SAODV applied by the intermediate and the destination nodes

Fidelity is considered as an integer number that is associated with each node in the network. This concept contributes to maintain the security of the network while measuring what one calls the fidelity levels [14]. To make it understandable in one sentence, fidelity is a counter that is associated with a node, which is increased whenever it forwards a data packet successfully. The fidelity levels of the participating nodes are updated based on their faithful participation in the network. Every destination node sends back an acknowledgement to the source node, upon the reception of the data packets. The receipt of the acknowledgement enables the source node to increment the fidelity level of the intermediate node, for it has proved reliable and safe. In case where the source node doesn't receive the acknowledgement within a timer event, the source node will decrement the fidelity level of the intermediate node which replied and also the level of the node which was given as the next hop of the intermediate node. The fidelity tables are exchanged periodically between the participating nodes in the network. On receiving the acknowledgement, the fidelity levels of the respective nodes

are incremented, and the fidelity packets are exchanged (figure 3).

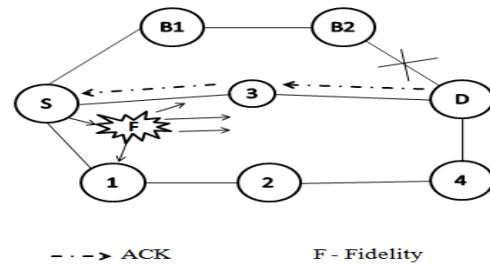


Fig 3: Receiving acknowledgement and broadcasting fidelity packets

In the literature, there exist various definitions of this concept. In our work we characterize the latter by the fidelity level of each intermediate node i . It is the degree of participation in the network operations. In other words; it is through the reports of transfer and reception of each node. Thus, the fidelity level φ_i of the node i is given by:

$$\varphi_i = \left[\frac{(MT)_i}{(MR)_i} \right]$$

Where MT (resp. MR) is the number of forward (resp. received) messages by the node i and $[X]$ indicate the integer part of the real X .

Whenever we observe that the fidelity level value of a particular node is greater than that of another node then we can conclude that the one having the greater value is more durable than the other from whose value is greater. It is quite logical because a node with greater value indicates that it is an experienced node in the network and it has transmitted packets most dutifully than other nodes. In the case where the level of any node drops to 0, it is considered to be a malicious node, termed as a black hole and it is eliminated. The detection of a Black hole has to be intimated to the other participating nodes in the network. This is accomplished by sending alarm packets. When a node receives an alarm packet, it will identify the Black hole and so can eliminate the use of that node from then on. The final scenario where the Black holes have been detected and hence eliminated is shown in figure 4.

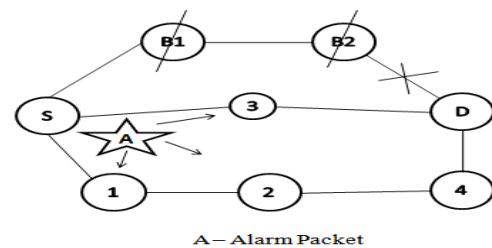


Fig 4: Black hole nodes elimination

To summarize the followed procedures in our approach, we present below an extract of the resulting algorithm. It is subdivided into three principal steps according to the specification of the source, intermediate and destination nodes:

Step1 (Source node): Diffusion of the RREQ packet.

1. The hash function generated $\leftarrow 0$

2. $RREQ_{secure} \leftarrow Original\ RREQ + hash\ chain\ protection + digital\ signature + protection\ key\ of\ the\ node$

Step2 (Intermediate node): Receiving RREQ Packets.

$Int\ \varphi = \left\lfloor \frac{mt}{mr} \right\rfloor, \varphi^c$

While (destination) Do

Receiving secure RREQ

If (INaddr == RREQ.DESTaddr) Then

Send the RREP RREP + Hash Chain protection + digital signature + protection key

EndIf

Calculate $AVG_ \varphi_ LEVEL = \varphi_ IN + \varphi_ nexthop$

If ($\varphi_ IN > \varphi^c$ and $\varphi_ nexthop > \varphi^c$) Then

Send the data

EndIf

Repeat until a maximum Time to live value.

End

Step3 (Destination node): Receiving the secure RREP packets.

Time = current time value + timer value

While (current time value \leq time) do

If (ACK is received) then

Increment $\varphi_ IN$ and $\varphi_ nexthop$

Else decrement $\varphi_ IN$ et $\varphi_ nexthop$

If (Fidelity level of a node = 0) then

Remove the node from neighbour table and fidelity table.

An alarm packet is generated and diffused to all neighboring nodes concerning the malicious node.

The source node forwards a secure and protected RREQ with a digital signature towards its neighbors. As soon as the intermediate nodes receive it this request, if one of them is the destination node, then it generates an unicast RREP encrypts and send back in the reverse route. Else if the node is the intermediate one, the calculation of the fidelity level for each node will start to select the best among them. A comparison between the average of fidelity level of the node of the current level and that in the next hop with a threshold value noted φ^c , makes it possible to authorize or prevent the transfer of data. If the average value of the fidelity level is higher than the φ^c value, there will automatically be a sending of data packets. On receiving the data packets, the destination node will send an acknowledgement to the source, whereby the intermediate node's level will be incremented. If no acknowledgement is received, the intermediate node's level will be decremented. In the case where the level of any node drops to 0, it is considered to be a malicious node and will be removed from the routing and fidelity tables.

IV. SIMULATION

Context: To analyze the behavior of Ad Hoc routing protocols, for our simulations based on NS2 simulator, we use a CBR (Constant Bit Rate) application. The traffic between nodes is produced using a traffic generator which creates randomly CBR connections that start at moments which are uniformly distributed between 0 and 60 seconds (with a pause time equal to 10 seconds). The size of the transferred data is 512 bytes. Mobility scenarios are generated using a random way point model (RWP) by varying the mobile nodes moving in an area of 500m x 500m. The number of nodes is fixed in 35.

Table 1 – Simulation parameters

Parameter	Value
Simulator	NS2
Number of Nodes	35 nodes
Traffic Type	Constant Bit Rate CBR
Mobility Model Random	Waypoint
Terrain area	500 m*500 m
Simulation Time	60 seconds
Packet Size	512 bytes
Routing Protocols	AODV, SAODV, PC-AODV-BH
Pause time	10 seconds

A. Performance Metric:

The performance can be evaluated based on the following metrics:

a) Packet Delivery Ratio: is the ratio of received packets (RP) to the sent packets (SP).

$$PDR = \frac{RP}{SP}$$

b) End-to-End Delay: the average delay between the sending of data packets by the source and the receiving it by the destination.

B. Comparison of SAODV, PC-AODV-BH with AODV

We assume that the network described in the table 1 is vulnerable because of the black hole attacks. In order to describe the impact of malicious nodes on the behavior of the AODV, SAODV and PC-AODV-BH routing protocols, we consider three situations of black hole attack: 1, 2 and 5.

i) One black hole:

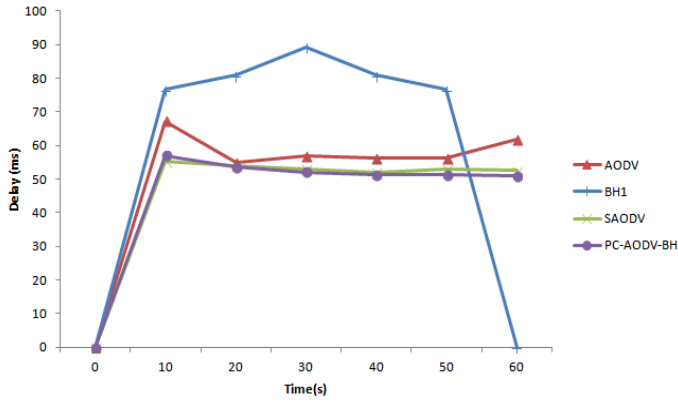


Fig 5: Comparison of the end to end delays with one black hole

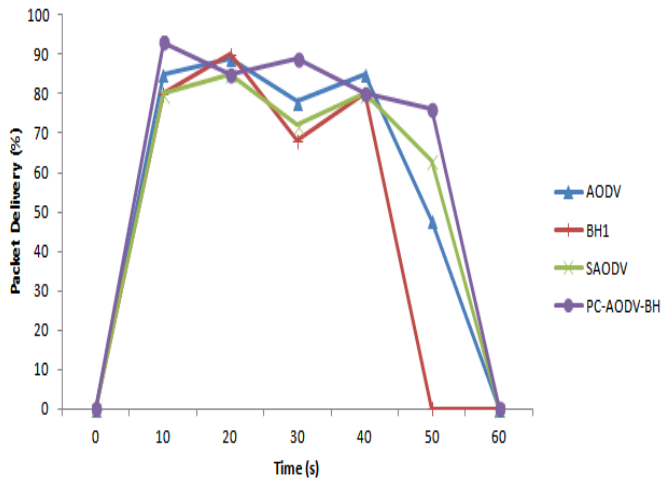


Fig 6: Comparison of the Packet Delivery with one black hole

ii) Two black hole :

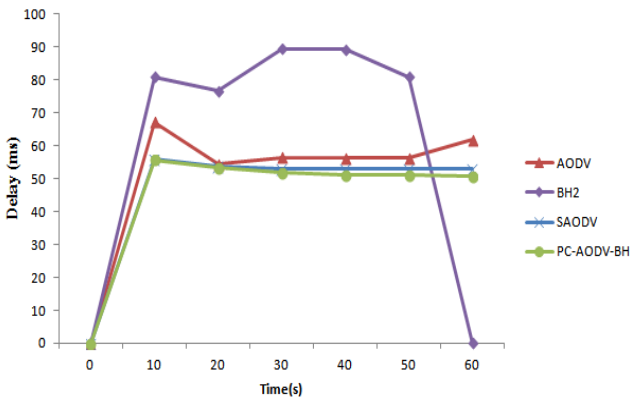


Fig 7: Comparison of the end to end delays with two black holes

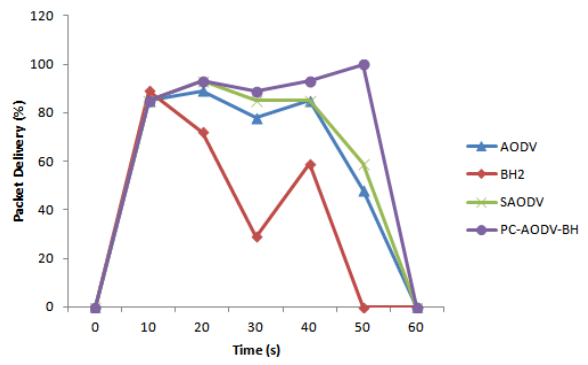


Fig 8: Comparison of the Packet Delivery with two black holes

iii) Five black hole:

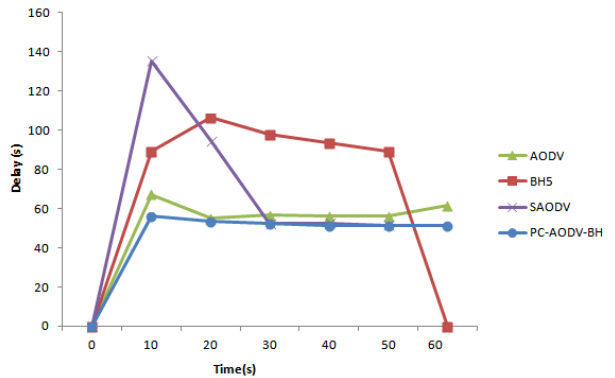


Fig 9: Comparison of the end to end delays with five black holes

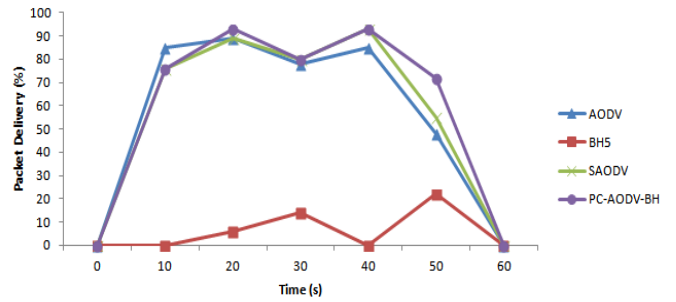


Fig 10: Comparison of the Packet Delivery with five black holes

C. Interpretation:

The figures Fig 5 – Fig 10 represent the variation according to the time, of the end-to-end delay and packet delivery ratio in the AODV without black hole, AODV with black hole, SAODV and PC-AODV-BH. These figures show the effect of black holes attacks on these two metrics, the objective of the PC-AODV-BH is to neutralize the effects of malicious nodes by using a protector control. SAODV and PC-AODV-BH made it possible to decrease the end to end delay and increase the packet delivery ratio. One notes that the two protocols of control are able to defend the AODV routing in the three situations of attacks (1, 2 and 5 black holes), for the

considered metric. We remark after these curves that the PC-AODV-BH is more efficient than the SAODV protocol. That is a consequence of the use of the fidelity levels for choosing the safest route taking into account at the same time the current level and that of the next hop.

Conclusion

In this work, we have proposed an efficient approach for defending the AODV protocol against black hole attacks. This is a combination of public key cryptography mechanisms and the concept of fidelity levels which are associated to each Ad Hoc nodes. The implementation of the resulting algorithm, according to the end to end delay and packet delivery has shown that the proposed protocol made it possible to answer the objective of this work, and it is very appropriate to control black hole attacks by comparing it with the SAODV protocol.

References

- [1] Mohit Kumar, Rashmi Mishra “An Overview of MANET: History, Challenges and Applications”, Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE), ISSN: 0976-5166, Vol. 3, No. 1, Feb-Mar 2012.
- [2] Huaizhi Li, Zhenliu Chen and Xiangyang Qin. Secure Routing in Wired Networks and Wireless Ad Hoc Networks. IEEE 2004.
- [3] Jasvinder, Monika Sachdeva. A Survey of Behavior of MANET Routing Protocols Under Black-hole Attack. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 3, Issue 8, pp. 647-651, 2013.
- [4] S. Sharma and R. Gupta. Simulation study of blackhole attack in the mobile ad-hoc networks. Journal of Engineering Science and Technology, Volume 4, Issue 2, pp. 243-250, 2009.
- [5] K. Sanzgiri and B. Dahill and B.N.Levine and C.Shields and E.M. Belding-Royer. A Secure Routing Protocol for Ad hoc Networks. In proc. Of International Conference on Network protocols (INCP), 2002.
- [6] Xiaoqi Li, Michael R. Lyu and Jiangchuan Liu. A Trust Model Based Routing Protocol for Secure Ad Hoc Networks. Aerospace Conference, IEEE, 2004.
- [7] A. Perrig, R. Canetti, J. D. Tygar and D. Song. The TESLA broadcast authentication protocol. RSA CryptoBytes, Volume 5, Issue 2, pp. 2-13, 2002.
- [8] S. BOUJAADA, Y. QARAAI, S. AGOUJIL and M. HAJAR. Protector control PC-AODV-BH in the Ad Hoc networks. The International Journal of Information Technology, Modeling and Computing (IJITMC), 2016. Submitted.
- [9] C.E. Perkins and E.M. Royer. Ad-hoc on-demand distance vector routing. Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 90-100, 1999
- [10] H. Deng, W. Li, D.P. Agrawal. Routing Security in Wireless Ad Hoc Networks. IEEE Communications Magazine, Volume 40, Octobre 2002.
- [11] A. RACHEDI. Contribution à la sécurité dans les réseaux mobiles ad Hoc. Université d’Avignon et des Pays de Vaucluse, 2008.
- [12] M. Guerrero Zapata and N. Asokan. Securing Ad hoc Routing Protocols, Proceedings of the 2002 ACM Workshop on Wireless Security (WiSe 2002), pp. 1-10, 2002.
- [13] R. Glabb, L. Imbert, G. Jullien, A. Tisserand and N. Veyrat-Charvillon. Multi-mode operator for SHA-2 hash functions. Journal of Systems Architecture 53, pp. 127–138, 2007.
- [14] Himadri Nath Saha, Debika Bhattacharyya and P.K. Banerjee. Fidelity Based On Demand Secure (FBOD) Routing in Mobile Adhoc Network. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, pp. 615-627, 2011

Vers une construction d'une nouvelle fonction de hachage cryptographique

S.EL MOUMNI^{#1}, M.FETTACH^{#2}
Laboratoire de Traitement de l'Information,
Faculté des Sciences Ben M'sik,
Université Hassan II, Casablanca –Maroc
[1soufianeelmoumni@gmail.com](mailto:soufianeelmoumni@gmail.com)
[2fettachmohamed@gmail.com](mailto:fettachmohamed@gmail.com)

A.TRAGHA^{#3}
Laboratoire de Technologie de l'Information et Modélisation,
Faculté des Sciences Ben M'sik,
Université Hassan II, Casablanca –Maroc
[3atragha@yahoo.fr](mailto:atragha@yahoo.fr)

Résumé—La fonction de hachage cryptographique est une fonction déterministe, elle prend un message de taille arbitraire et calcule une empreinte, ou haché, de ce message, ce haché peut servir à identifier le message sous une forme plus compacte. Parmi les domaines de l'utilisation de la fonction de hachage cryptographique on peut citer: la vérification de l'intégrité des données (somme de contrôle), la signature électronique (l'authentification de l'expéditeur), la protection des mots de passe, la génération des nombres pseudo aléatoires. Cet article présente le principe et la définition de la fonction de hachage cryptographique, ses propriétés, sa construction, ses attaques, et la compétition SHA-3 organisée par NIST pour le choix d'une nouvelle fonction de hachage standard.

Mots clé—fonction de hachage cryptographique; construction ; attaques, SHA3

I. INTRODUCTION

Les fonctions de hachage cryptographiques jouent un rôle important dans plusieurs applications cryptographiques, y compris la signature électronique, la vérification de l'intégrité des données, les protocoles d'authentification, le stockage des mots de passe, et la génération des nombres aléatoires. Alors, toute faiblesse au niveau des algorithmes de hachage peut affecter négativement sur plusieurs applications.

Pendant plusieurs années, les fonctions de hachage MD-5[16], SHA-1[17], et la SHA-2[18] sont les plus utilisées, cependant, à cause des attaques [39 : 41] et de la progression des systèmes matériels de calcul, les fonctions de hachage devront être plus efficaces, pour cela, l'institut nationale des standards et de technologie a lancé une compétition publique [37] afin de sélectionner un nouveau algorithme de hachage qui sera la SHA-3.

Grace à cette compétition, les fonctions de hachage deviennent le sujet le plus intéressant dans la cryptographie.

Le reste de cet article est organisé comme suit : la section II présente la classification, les propriétés, la structure des fonctions de hachage cryptographiques, et ses attaques, la section III montre les applications des fonctions de hachage, la section IV est centrée sur la compétition SHA-3, tandis que la section V conclut cet article.

II. LES FONCTIONS DE HACHAGE CRYPTOGRAPHIQUES

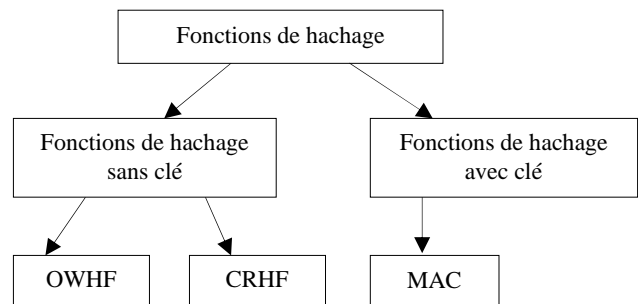
A. Classification

Les fonctions de hachage cryptographiques sont divisées en deux classes: les fonctions de hachage avec clé ou code de détection de modification (MDC), et les fonctions de hachage sans clé ou code d'authentification de message (MAC), comme il est montré sur la figure 1.

Les fonctions de hachage sans clé sont divisées en deux types : les fonctions de hachage à sens unique (OWHF), et les fonctions de hachage résistantes à la collision (CRHF). Dans le domaine de la cryptographie, il est désiré d'avoir une fonction de hachage à sens unique et résistante à la collision.

Les fonctions de hachage sans clé prennent une donnée de taille arbitraire comme un élément d'entrée et produisent un haché de taille fixe: $H : \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^N$. Tandis que les fonctions de hachage avec clé prennent une donnée de taille arbitraire et une clé secrète 'k' de taille fixe comme des éléments d'entrée : $H : \{0,1\}^k \times \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^N$

Fig. 1. Classification des fonctions de hachage.



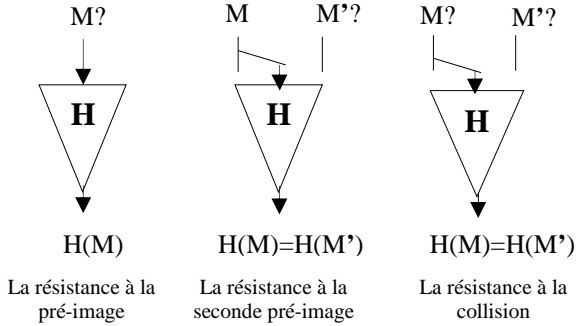
B. PROPRIETES

Les fonctions de hachage offrent des propriétés qui répondent aux besoins des applications en termes de sécurité. Parmi ces propriétés, on cite :

- La résistance à la pré-image : pour un haché h donné, il est pratiquement impossible de trouver le message M, tel que $H(M)=h$.

- La résistance à la seconde pré-image : pour un message M donné, il est pratiquement impossible de trouver un M' tel que : $H(M')=H(M)$, avec $M' \neq M$.
- La résistance à la collision : il est pratiquement impossible de trouver deux messages arbitraire $M \neq M'$, tel que $H(M)=H(M')$.

Fig. 2. Les propriétés de la fonction de hachage



C. STRUCTURE DES FONCTIONS DE HACHAGE

Les fonctions de hachage se basent sur deux axes:

1) La fonction de compression :

La compression des données est le premier objectif de la fonction de hachage afin de générer une empreinte de taille réduite. Il y a différentes méthodes pour compresser la donnée, on peut citer:

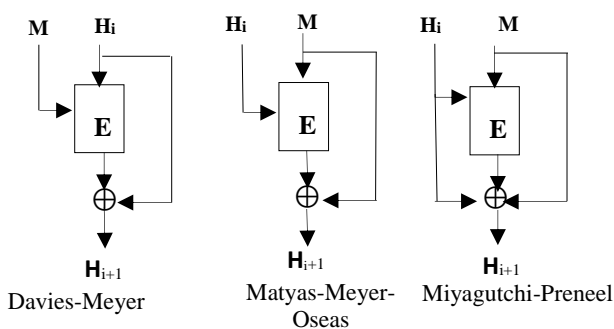
a) Le chiffrement par bloc :

L'utilisation du chiffrement par bloc comme une fonction de compression permet d'avoir un design simple, et de minimiser le cout de l'implémentation. Elle prend en entrée un bloc de message $M(i)$ et une variable de chaînage $H(i)$ pour produire $H(i+1)$.

Parmi les fonctions de compression fondées sur le chiffrement par bloc, on peut citer:

- Mode opératoire de Davies-Meyer [1]: $F(H_i, M_i) = E_{M(i)}(H_i) \oplus H_i$
- Mode opératoire de Matyas-Meyer-Oseas [2]: $F(H_i, M_i) = E_{H(i)}(M_i) \oplus M_i$
- Mode opératoire de Miyaguchi-Preneel [3,4] : $F(H_i, M_i) = E_{H(i)}(M_i) \oplus M_i \oplus H_i$.

Fig. 3. Exemples des fonctions basées sur le chiffrement par bloc



b) Le chiffrement par flot:

Les fonctions de hachage basées sur le chiffrement par flot sont plus rapides et plus efficaces que les fonctions basées sur le chiffrement par bloc.

Panama est la première fonction de hachage basée sur le chiffrement par flot, elle était proposée en 1998 [5]. Après Panama, la RC-4 Hash [6], et après les attaques [7,8] sur Panama, Radiogatun [9] a été proposé pour remplacer Panama. On outre, il y a des algorithmes de hachage basés sur le chiffrement par flot qu'ils étaient des candidats de la compétition SHA-3 comme Lux [10], et Boole [11].

c) Les fonctions de hachage dédiées:

En général, les fonctions de hachage dédiées sont construites par une approche basée sur le chiffrement par bloc, elles permettent d'avoir un minimum de cout d'implémentation, haute vitesse, et haute sécurité.

MD-2 [12], était la première fonction de hachage dédiée, conçu par Rivest en 1990. Après la présence de la collision sur la MD-2, Rivest a proposé la MD-4 [13], et à cause des attaques de Dobbertin [14,15], Rivest a proposé une fonction plus forte que la MD-4, c'est la MD-5[16], ensuite, la NIST a publié la famille SHA [17,18].

2) La fonction de construction :

Il y a plusieurs fonctions de construction permettant de construire une fonction de hachage, on peut citer :

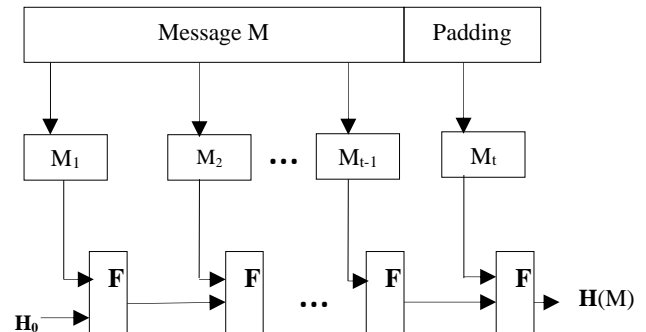
a) La construction de Merkle-Damgard (MD) :

La méthode de construction de Merkle-Damgard est conçue par R.Merkle [19] et Damgard [20] indépendamment en 1989.

La construction MD se base sur trois étapes : la première étape est le Padding, par lequel, la taille du message M à hacher devient un multiple de la taille des blocs du message m. Il s'agit de concaténer un bit '1' suivi par un ensemble de bit '0' afin d'avoir une taille du message multiple de la taille des blocs à traiter.

La deuxième étape consiste à diviser le message en n blocs, tandis que la dernière étape consiste à appliquer d'une façon itérative la fonction de compression utilisée.

Fig. 4. La construction MD



Parmi les fonctions de hachage qui utilisent la construction MD, on peut citer : la MD-5 [16], la SHA-1 [17], la SHA-2[18], et Grostl [21] (participante à la compétition de SHA-3).

d) La construction HAIFA :

La méthode de construction HAIFA (Hash Iterative FrAMework) est conçue par Biham et Dunkelman [22], elle basée sur la construction MD, afin d'améliorer la MD en terme de sécurité.

La fonction de compression dans MD prend uniquement le bloc de message $M(i)$ et la variable de chaînage $H(i)$ comme des paramètres d'entrées, par contre en HAIFA, la fonction de compression prend ' $M(i)$ ', ' $H(i)$ ', le nombre de bits ' b ' et le salt ' s ' : $H(i)=f(H_{i-1}, M_{i-1}, b, s)$. Ces dernières entrées servent à résister les attaques.

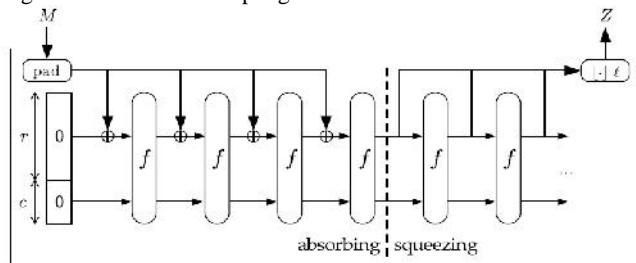
e) La construction éponge :

La méthode de construction éponge est conçue par Bertoni et al [23]. Elle comporte une fonction de compression différente à celle de MD et de HAIFA. Cette construction se fait par deux étapes:

L'absorption: dans cette phase, le bloc de message passe par un OU exclusive (XOR), ensuite, une fonction f sera appliquée d'une façon itérative jusqu'au dernier bloc de message.

L'essorage : après la génération d'un tableau à trois dimensions par la phase d'absorption, une partie de ce tableau sera une partie de la sortie, et pour les autres parties de la sortie, la même fonction f est appliquée autant de fois pour générer la sortie de taille demandée par l'utilisateur.

Fig. 5. La construction éponge

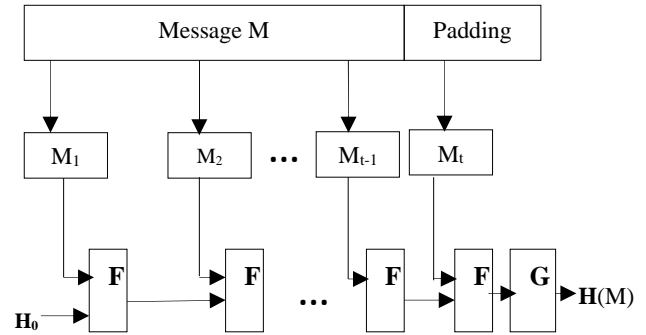


f) La construction wide pipe et double pipe :

Wide pipe est conçue par Lucks [24] [25], elle permet d'augmenter la complexité contre les attaques qui dépendent de la variable de chaînage $H(i)$.

La double pipe est une autre approche conçue par Lucks [24][25], elle consiste à appliquer deux itérations en parallèle, ces deux itérations s'initialisent différemment. Elle peut utiliser des fonctions de compression différentes, et la valeur de hachage sera une combinaison entre les deux sorties de ces itérations.

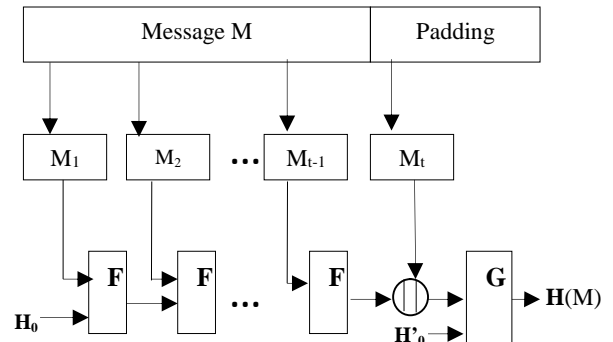
Fig. 6. La construction Wide pipe



g) La construction MD enveloppée (EMD) :

EMD est conçue par Bellare et Ristenpart [26]. Elle consiste à appliquer la MD pour tous les blocs de message sauf le dernier bloc M_{t-1} et la dernière variable de chaînage H_{t-1} qui seront concaténées et formeront une entrée pour une autre itération avec une autre variable initiale H'_0 .

Fig. 7. La construction EMD



D. LES ATTAQUES

Les attaques sur les fonctions de hachage consistent à trouver la pré-image, la seconde pré-image, ou la collision. Si une attaque peut trouver une pré-image, une seconde pré-image, ou une collision avec une complexité moins de 2^n , 2^n , ou $2^{n/2}$ respectivement, alors, on peut considérer que cette fonction est cassée, ou non sécurisée.

1) L'attaque des anniversaires :

L'attaque des anniversaires est un outil pour trouver des collisions dans une fonction de hachage. Elle est basée sur le paradoxe des anniversaires, qu'il consiste à choisir vingt-trois personnes aléatoirement, la probabilité de trouver au moins deux personnes auront la même date d'anniversaire est au moins 1/2. Alors pour projeter ce paradoxe sur les fonctions de hachage, on nomme la collision, toute présence de deux personnes qui ont la même date d'anniversaire.

2) L'attaque de correction de bloc :

Cette attaque est un outil de trouver la seconde pré-image. Elle consiste à fixer un message M_1 de t blocs avec sa valeur

de hachage $H(M_1)$, et trouver un message M_2 de k blocs plus court que M_1 de telle sorte que : $H(M_1)=H(M_2/Y)$, avec $Y=M_1, \dots, M_{t-k}$.

3) L'attaque de MIMA:

MIMA (Meet In the Middle Attack) est une variante de l'attaque des anniversaires pour trouver une seconde pré-image, l'attaque des anniversaires compare les valeurs de hachage tandis que MIMA compare les variables de chaînage interne. L'avantage de MIMA c'est qu'elle permet à un adversaire de construire un message avec une valeur de hachage désirée (seconde pré-image).

Nishimura et Sibuya ont défini trois modèles de MIMA en [27], tandis que Coppersmith [28] et Girault [29] ont proposé un modèle qui généralise les propositions précédentes.

4) Autres attaques :

Dans le domaine de la cryptanalyse, il y a toujours des nouveautés et des progressions au niveau des attaques, on peut citer : l'attaque d'extension de longueur [30], l'attaque de joux [31], l'attaque du point fixe [1], l'attaque du message longue de Kelsey & Schneier [33], l'attaque Herding [34], l'attaque Slide [35], l'attaque Rebound [36].

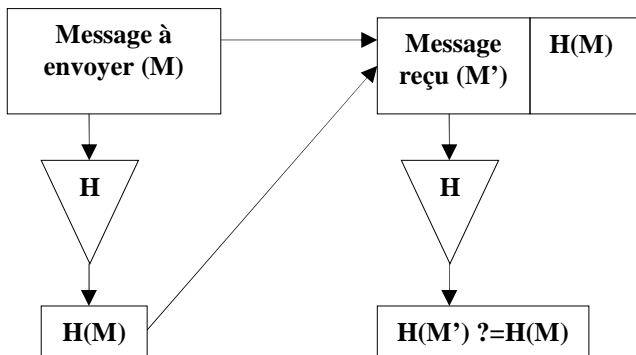
III. APPLICATIONS DES FONCTIONS DE HACHAGE CRYPTOGRAPHIQUES

Les fonctions de hachage sont utilisées dans nombreuse applications, on peut citer :

A. LA VERIFICATION DE L'INTEGRITE DU MESSAGE

La vérification de l'intégrité du message est l'objectif principal de la fonction de hachage, généralement, les messages sont transmis sur un canal non sécurisé, alors, pour garantir l'intégrité du message, on calcule une valeur de hachage du message à envoyer, et après l'envoi du message accompagné de sa valeur de hachage, le destinataire recalcule une valeur de hachage du message reçu, et compare cette valeur avec la valeur de hachage reçu pour vérifier l'intégrité du message. La figure 8 suivante montre le principe de vérification.

Fig. 8. Principe de la vérification de l'intégrité d'un message



B. LA SIGNATURE ELECTRONIQUE

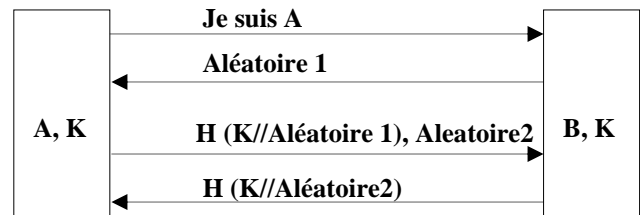
La signature électronique est une application cryptographique permettant de garantir l'intégrité du message et d'authentifier l'expéditeur. Elle est utilisée dans le e-commerce, les transactions financières, et tout cas de détection d'une altération d'un message.

La différence entre la signature électronique et la signature écrite, c'est que la première n'est pas visuelle.

C. LE PROTOCOLE D'AUTHENTIFICATION

Le protocole d'authentification est un protocole cryptographique qui permet aux communicant de s'authentifier, en utilisant une fonction de hachage paramétrée par une clé K . La figure suivante montre le principe du protocole d'authentification via un exemple.

Fig. 9. Principe du protocole d'authentification



D. LA PROTECTION DES MOTS DE PASSE

Le stockage des mots de passe est une application quotidienne dans notre vie, et l'utilisation des fonctions de hachage est incontournable pour cette tâche. La plupart des systèmes utilisent un protocole d'authentification pour authentifier l'utilisateur, et souvent, l'utilisateur s'authentifie par son nom et son mot de passe, alors, le stockage du mot de passe en clair dans un système est une menace pour l'utilisateur, même l'utilisation du chiffrement du mot de passe ne suffit pas car le système doit contenir des informations sur la clé de chiffrement. Alors, la fonction de hachage est très utilisée pour cette tâche critique et le système va comparer la valeur de hachage du mot de passe entré par l'utilisateur et celle enregistrée dans le système.

E. LA GENERATION D'UN NOMBRE ALEATOIRE

Les nombres aléatoires sont très utilisés et surtout dans le domaine de la cryptographie (la génération des clés du chiffrement symétrique).

La fonction de hachage cryptographique est indifférentiable de l'oracle aléatoire, c'est-à-dire que sa sortie est aléatoire, en outre, les algorithmes de hachage sont rapides. Pour ces raisons, il est préférable de générer les nombres aléatoires à l'aide des fonctions de hachage.

IV. LA COMPETITION SHA-3

La fonction de hachage SHA-1 a été cassée par des attaques de Wang et al. [39][40], et puisque la SHA-2 est une dérivée de la SHA-1, alors, l'attaque sur SHA-2 est fortement possible [41], d'où la sécurité des fonctions de hachage est en faiblesse. Pour cela, l'institut national des standards et de technologie (NIST) lance une compétition publique afin

d'avoir une nouvelle fonction de hachage, plus résistante aux attaques connues, et différente de SHA-2 en terme de design, et plus rapide en terme d'implémentation. Cette compétition a été lancée en 2007 [37], et elle était en trois étapes, la première a contenu 51 algorithmes de hachage participants à cette compétition, la deuxième étape a éliminé 40 algorithmes de hachage [42], tandis que dans la troisième étape, il reste juste 5 algorithmes de hachage.

Après cette compétition, le NIST a défini en 2012 la fonction de hachage Keccak [38] comme l'algorithme de hachage gagnant, et qu'il sera nommé la SHA-3.

V. CONCLUSION

La fonction de hachage cryptographique est devenue le sujet d'actualité dans la communauté cryptographique notamment après le concours de SHA-3 lancé par le NIST.

Dans ce travail, nous avons présenté d'une façon approfondie la structure, les applications, et les attaques des fonctions de hachage cryptographique.

Notre travail suivant consiste à construire une nouvelle fonction de hachage basée sur une des constructions illustrées au-dessus, et qui sera comparable avec les fonctions de hachage récentes, en termes de sécurité, et de rapidité d'implémentation.

References

- [1] Alfred Menezes, Paul C. van Oorschot, and Scott A. Vanstone. Handbook of Applied Cryptography. CRC Press, 1996.
- [2] C.H. Meyer J. Oseas S.M. Matyas. Generating Strong One-Way Functions with Cryptographic Algorithm. In IBM Techn. Disclosure Bull., Vol. 27, No. 10A, pages 5658–5659, 1985.
- [3] S. Miyaguchi, M. Iwata, and K. Ohta. New 128-Bit Hash Function. In Proceeding of 4th International Joint Workshop on Computer Communications, pages 279–288, 1989.
- [4] B. Preneel, R. Govaerts, and J. Vandewalle. Hash Functions Based on Block Ciphers: A Synthetic Approach. pages 368–378, 1993.
- [5] Joan Daemen and Craig Clapp. Fast Hashing and Stream Encryption with Panama. In Fast Software Encryption 1998, pages 60–74. Springer.
- [6] Donghoon Chang, Kishan Chand Gupta, and Mridul Nandi. Rc4-hash: A New Hash Function Based on RC4. In INDOCRYPT, pages 80–94, 2006.
- [7] Vincent Rijmen, Bart Van Rompay, Bart Preneel, and Joos Vandewalle. Producing Collisions for Panama. In Fast Software Encryption, pages 37–51. Springer, 2002.
- [8] Joan Daemen and Gilles Van Assche. Producing Collisions for Panama, Instantaneously. In Fast Software Encryption, pages 1–18. Springer, 2007.
- [9] Guido Bertoni, Joan Daemen, and Gilles Van Assche. Radiogatun, A Belt-and-Mill Hash Function. In NIST - Second Cryptographic Hash Workshop, 2006.
- [10] Ivica Nikolić, Alex Biryukov, and Dmitry Khovratovich. Hash family LUX – Algorithm Specifications and Supporting Documentation. Submission to NIST, 2008.
- [11] Gregory G. Rose. Design and Primitive Specification for Boole. Submission to NIST, 2008.
- [12] Burt Kaliski. The MD2 Message-Digest Algorithm. <http://www.ietf.org/rfc/rfc1319>, 1990.
- [13] Ron Rivest. The MD4 Message-Digest Algorithm. <http://tools.ietf.org/rfc/rfc1320>, 1990.
- [14] Hans Dobbertin. Cryptanalysis of MD4. J. Cryptology, 11(4):253–271, 1998.
- [15] Hans Dobbertin. Cryptanalysis of MD4. In Fast Software Encryption, volume 1039 of LNCS, pages 53–69, 1996.
- [16] Ron Rivest. The MD5 Message-Digest Algorithm. <http://tools.ietf.org/rfc/rfc1321>, 1991.
- [17] National Institute of Standards and Technology. FIPS PUB 180. <http://security.isu.edu/pdf/fips180.pdf>, 1993.
- [18] National Institute of Standards and Technology. FIPS PUB 180-1. <http://www.itl.nist.gov/fipspubs/fip180-1.htm>, 1995.
- [19] Ralph C. Merkle. One Way Hash Functions and DES. In CRYPTO, pages 428–446, 1989.
- [20] Ivan Damgard. A Design Principle for Hash Functions. In CRYPTO, pages 416–427, 1989.
- [21] Gauravaram, P., Knudsen, L.R., Matusiewicz, K., Mendel, F., Rechberger, C., Schllffer, M., Thomsen, S.S.: SHA-3 Proposal Grøstl Version 2.0.1 (2011), <http://www.groestl.info/>
- [22] Eli Biham and Orr Dunkelman. A Framework for Iterative Hash Functions: HAIFA. In In Proceedings of Second NIST Cryptographic Hash Workshop.
- [23] Guido Bertoni, Joan Daemen, Michael Peeters, and Gilles Van Assche. Sponge Functions, 2007.
- [24] Stefan Lucks. Design Principles for Iterated Hash Functions, 2004.
- [25] Stefan Lucks. A Failure-Friendly Design Principle for Hash Functions. In ASIACRYPT 2005, pages 474–494. Springer.
- [26] Mihir Bellare and Thomas Ristenpart. Multi-Property-Preserving Hash Domain Extension and the EMD Transform. In ASIACRYPT 2006, pages 299–314. Springer-Verlag.
- [27] K. Nishimura and M. Sibuya. Probability to Meet in the Middle. J. Cryptology, 2(1):13–22, 1990.
- [28] Don Coppersmith. Another Birthday Attack. In CRYPTO, pages 14–17, 1985.
- [29] Marc Girault, Robert Cohen, and Mireille Campana. A Generalized Birthday Attack. In EUROCRYPT, pages 129–156, 1988.
- [30] Coron, J. S., Dodis, Y., Malinaud, C., & Puniya, P. (2005, August). Merkle-Damgård revisited: How to construct a hash function. In Advances in Cryptology–CRYPTO 2005 (pp. 430–448). Springer Berlin Heidelberg.
- [31] Antoine Joux. Multicollisions in Iterated Hash Functions. Application to Cascaded Constructions. In CRYPTO 2004, pages 306–316. Springer.
- [32] Richard D. Dean. Formal Aspects of Mobile Code Security. PhD thesis, 1999.
- [33] John Kelsey and Bruce Schneier. Second Preimages on n-Bit Hash Functions for Much Less than 2^n Work. In EUROCRYPT 2005, pages 474–490. Springer.
- [34] John Kelsey and Tadayoshi Kohno. Herding Hash Functions and the Nostradamus Attack. In EUROCRYPT, pages 183–200, 2006.
- [35] Alex Biryukov and David Wagner. Slide Attacks. In Fast Software Encryption 99, pages 245–259, 1999.
- [36] Florian Mendel, Christian Rechberger, Martin Schläffer, and Soren Steffen Thomsen. The Rebound Attack: Cryptanalysis of Reduced Whirlpool and Grostl. In Fast Software Encryption, pages 265–281, 2009.
- [37] Announcing request for candidate algorithm nominations for a new cryptographic hash algorithm (SHA-3) family, Federal Register Notices 72 (2007), no. 212, 62212–62220, <http://csrc.nist.gov/groups/ST/hash/index.html>
- [38] G. Bertoni, J. Daemen, M. Peters, G. Van Assche. Keccak specifications. <http://keccak.noekeon.org/Keccak-specifications.pdf>
- [39] Xiaoyun Wang and Hongbo Yu. How to Break MD5 and Other Hash Functions. In EUROCRYPT, pages 19–35, 2005.
- [40] X. Wang, Y. L. Yin, H. Yu: Finding collisions in the full SHA-1. Crypto 2005:17-36
- [41] K. AoKi, j. Guo, K. Matusiewicz, Y. Sasaki, L. Wang: Preimages for Step-reduced SHA-2. ASIACRYPT 2009: 578-5.
- [42] E. Barker, et al. Report on the Development of the Advanced Encryption Standard (AES). Available at: <http://csrc.nist.gov/archive/aes/round2/r2report.pdf>, Aug., 2010.

Internet des Objets: Visions, Technologies, et Domaines d'Application

Amine Rghioui, Abdelmajid Oumnad

Laboratoire d'Electronique et de Communication - LEC - Ecole Mohammadia d'Ingénieurs (EMI)

MOHAMMED V UNIVERSITY IN RABAT

Rabat, Morocco

rghioui.amine@gmail.com, aoumnad@emi.ac.ma

Résumé—L'Internet des objets (IdO), également appelé Internet de futurs, est un nouveau paradigme qui combine plusieurs technologies comme l'Internet, réseau de capteurs, l'identification par radiofréquence (RFID), les technologies de communication et les systèmes embarqués pour former un système qui relie le monde réels avec le monde numériques. IdO est reconnu comme l'un des domaines les plus importants de la technologie de l'avenir. Actuellement, un grand nombre d'objets intelligents et différents types d'appareils sont reliés entre eux et capable de communiquer en utilisant le protocole Internet. Avec une augmentation du déploiement des objets intelligents, l'Internet des objets devrait avoir un impact significatif sur la vie humaine dans un avenir proche. Pour comprendre le développement de l'IdO, ce document passe en revue la recherche actuelle de l'IdO, les technologies clés, les principales applications de l'IdO dans plusieurs domaines, et identifie les défis de recherche. Cet article présente aussi les principaux domaines d'applications pour comprendre les efforts actuels de l'IdO en examinant les technologies clés génériques nécessaire et la recherche futuriste clé qui nous attendent. Une contribution principale de cet article de synthèse est qu'il résume l'état de l'art actuel de l'IdO dans plusieurs domaines, et fourni également un aperçu de certains principaux défis de l'IdO. Cet article présente non seulement les problèmes et les défis rencontrés dans l'IdO, mais aussi des solutions qui aideraient à surmonter sur certains problèmes et défis.

Mots clés—Internet des objets; IdO; RFID; réseau de capteurs; Middleware; cloud computing; smart grid; objet intelligent; smart city

I. INTRODUCTION

L'Internet des objets est une révolution technologique qui représente l'avenir de l'informatique et des communications, son développement dépend de l'innovation technique dynamique dans un certain nombre des domaines importants, à partir des réseaux de capteurs sans fil à l'architecture à base de nanotechnologie [1] [2]. Aujourd'hui, nous constatons ce genre de technologie dans un large éventail d'applications potentielles, y compris ville intelligente, le contrôle commande et de maintenance des systèmes complexes dans le domaine de l'industrie, la santé, les transports, etc.,

Ce document commence par fournir un aperçu horizontal de l'IdO. Ensuite, nous donnons un aperçu de certains détails techniques qui se rapportent à l'IdO technologies habilitantes.

Comparé à d'autres documents de l'enquête sur le terrain, notre objectif est de fournir un résumé plus approfondie des technologies IdO, des défis de recherches, les problèmes, et les applications existants pour permettre aux chercheurs et aux développeurs d'applications de voir qu'ils sont les domaines traités par l'Internet des objets.

Le contour des contributions de ce papier par rapport à la littérature récente dans le domaine peut être résumé comme suit :

- Comparé à d'autres documents de l'enquête sur le terrain, cette enquête fournit un résumé plus profond sur l'Internet des objets, ce qui nous a permis de bien savoir c'est quoi l'Internet des objets.
- Nous fournissons un aperçu de certains des principaux défis de l'IdO présentés dans la littérature récente et fournissons un résumé des travaux de recherche connexe. En outre, nous explorons la relation entre l'IdO et d'autres technologies émergentes, y les réseaux de capteurs et la technologie RFID, et le cloud computing.
- Nous présentons la nécessité d'une meilleure intégration horizontale entre les services IdO.
- Nous présentons également les différents domaines d'application de l'Internet des objets dans la vie humaine, et aussi les applications futuristes détaillées pour illustrer les prochains travaux dans ce domaine.

Le reste de cet article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous montrons d'autres enquêtes sur l'Internet des objets. Dans la section 3, nous introduisons les technologies IdO essentielles. Vision et concepts clés liés à l'Internet des objets sont définis dans la section 4. Dans la section 5 nous discutons le contexte de la recherche et des technologies pertinentes, y compris les domaines d'application de l'Internet des objets et leur contribution potentielle à la réalisation de la vision IdO. Dans la section 6, nous présentons la recherche futuriste clé qui nous attendent dans le paysage IdO. Section 7 conclut l'enquête avec un certain nombre de remarques sur les approches possibles.

II. AUTRES ENQUETE SUR L'INTERNET DES OBJETS

Pour clarifier ce que l'IdO se réfère à plusieurs bonnes enquêtes ont été présentés récemment dont chacun afficher l'IdO sous un angle différent : défis [3], les applications [4], les normes [5], et l'élégance [6]. Parmi ces enquêtes, un aperçu complet de l'IdO de trois angles différents : choses, Internet, et la sémantique, a été présenté par Atzori et ses collègues [7]. Une autre étude récente, inspiré par [8], a présenté une architecture de cinq couches génériques pour décrire la conception globale d'IdO. Il y a plusieurs documents de l'enquête publiées qui couvrent différents aspects de la technologie IdO. Par exemple, l'enquête par Eleonora Borgia [9] couvre la communication principal des technologies habilitantes, filaires et sans fil et les éléments des réseaux de capteurs sans fil (WSN). Dans [10], les auteurs abordent l'architecture IdO et les défis du développement et de déploiement d'applications de l'IdO. Les technologies habilitantes et des services d'application à l'aide d'une vision centralisée de cloud sont présentés dans [11]. Les auteurs [12] donnent un aperçu de l'IdO pour les appareils sans fil utilisant 6LoWPAN / IEEE 802.15.4, Bluetooth et NFC pour les applications mHealth et cybersanté. En outre, l'article [13] traite de l'IdO en termes de technologies existantes et surtout la technologie RFID et ses applications. Défis IdO sont présentés dans [14]. Une vue d'ensemble des normes et des défis pour l'IdO actuels a été présenté dans [15]. Pour l'axe des applications de l'internet des objets, il y a beaucoup des enquêtes qui traitent cette partie par exemple dans [16] les auteurs viennent avec une solution IdO pour gérer le stationnement pour bicyclettes de manière très efficace c'est un parking à vélos. Une application « smart water » a pour but la surveillance et la gestion du cycle de l'eau a été présenté dans [17]. Une application de suivi de l'inventaire dans le domaine du logistique a été présentée dans [8]. Une autre application IdO très importat dans le domaine des mines est développé par [18] a pour but la gestion de la sécurité dans les mines, pour prévenir et réduire les accidents dans le secteur minier. Une autre application dans ce domaine est d'utiliser des capteurs chimiques et biologiques pour la détection précoce de la maladie et le diagnostic des mineurs. L'utilisation IdO dans le transport et la logistique est donnée par [19], [20] a conçu un système de contrôle intelligent pour surveiller la température / humidité à l'intérieur camions frigorifiques en utilisant des étiquettes RFID, les capteurs et la technologie de communication sans fil.

Pour le meilleur de nos connaissances, cependant, aucune enquête n'a mis l'accent sur des solutions industrielles de l'IdO. Toutes les enquêtes mentionnées ci-dessus ont passé en revue les solutions proposées par les communautés universitaires et de recherche et de se référer à des publications savantes produites par les chercheurs respectifs. Dans cet article, nous passons en revue les problèmes, les défis, les technologies de l'IdO et aussi les applications qui ont été proposés, conçus, développés et mis sur le marché, et qui sont utiles pour les chercheurs et pour les organisations industrielles dans le future proche.

III. NTERNET DES OBJETS : LES TECHNOLOGIES DE BASE

La prochaine vague dans l'ère de l'informatique est prévue pour être en dehors du domaine de bureau traditionnel. Un roman paradigme appelé Internet des objets a gagné rapidement du terrain au cours des dernières années. IdO se réfère à « un réseau mondial d'objets interconnectés adressables de manière unique, basée sur des protocoles de communication standard » dont le point de convergence est l'Internet. IdO est alimentée par les récentes avancées d'une variété de dispositifs et de technologies de la communication, mais les choses incluses dans IdO ne sont pas uniquement les périphériques complexes tels que les téléphones mobiles, mais ils comprennent également des objets du quotidien tels que la nourriture, des vêtements, des meubles, du papier, des repères, des monuments, des œuvres d'art, etc. [21]. Ces objets, agissant comme des capteurs ou actionneurs, sont capables d'interagir les uns avec les autres pour atteindre un but commun.

Dans ce qui suit, nous décrivons quelques aspects technologiques très importants liés à l'IdO.

A. RFID

Dans le scénario IdO, un rôle clé est joué par la technologie RFID (identification par radiofréquence). C'est une technologie automatique et sans contact, fournissant une interface de communication avec les objets marqués par la transmission de données sans fil pour récupérer les informations pertinentes, les systèmes RFID sont composés d'un ou plusieurs lecteurs, plusieurs balises, and des étiquettes RFID [22]. Ces technologies contribuent à l'identification automatique de tout ce qu'ils sont attachés, et permettent aux objets d'être affectés à une identité numérique unique, d'être intégrés dans un réseau, et d'être associés à des informations et des services numériques [23]. Dans un scénario typique d'utilisation, les lecteurs provoquent l'émission de la balise en générant un signal approprié, l'interrogation de l'éventuelle présence d'objets identifiés uniquement par tags. Les étiquettes RFID sont généralement passive (ils ne nécessitent pas d'alimentation électrique), mais il y a également des balises alimenté par piles [24].

B. Réseaux de capteurs sans fil

Un autre élément clé dans les environnements IdO est représenté par les réseaux de capteurs. Par exemple, ils peuvent coopérer avec des systèmes RFID pour mieux suivre l'état des choses, obtenir des informations sur la position, le mouvement, la température, etc. Les réseaux de capteurs sont généralement composées d'un nombre potentiellement élevé de nœuds permet la détection et la communication d'une manière sans fil. Des nœuds spéciaux (puits) sont habituellement utilisés pour recueillir les résultats. Les réseaux de capteurs sans fil (WSN) peuvent fournir diverses données utiles et sont utilisés dans plusieurs domaines comme la santé et les services environnementaux (de secours en cas de catastrophe naturelle), la défense (suivi de cible militaire et de surveillance), l'exploration de l'environnement dangereux, détection sismique, etc. [25]. Cependant, les réseaux de capteur

doivent faire face à de nombreuses questions concernant leurs communications (courte portée de communication, de sécurité et de confidentialité, fiabilité, mobilité, etc.) et les ressources (considérations de puissance, la capacité de stockage, des capacités de traitement, la disponibilité de la bande passante, etc.). En outre, WSN a ses propres contraintes des ressources et de conception et qui dépendent fortement de la taille de l'environnement de contrôle. La communauté scientifique adressée profondément plusieurs questions liées aux réseaux de capteurs à différentes couches (par exemple, l'efficacité énergétique, la fiabilité, la robustesse, évolutivité, etc.) [26]. WSN peut être prouvé mieux par rapport à la RFID, tout en suivant l'objet en mouvement, car il retrace l'emplacement avec ses paramètres d'atmosphère environnante comme l'humidité, la température, etc.

IV. LES DEFIS DE RECHERCHE POUR L'INTERNET DES OBJETS

Les défis de sécurité peuvent être résolus par la formation de développeurs d'intégrer des solutions de sécurité (par exemple, les systèmes de prévention, pare-feu ...) en produits et en encourageant les utilisateurs à utiliser les fonctionnalités de sécurité de l'IdO qui sont construits dans leurs appareils.

A. Defis de Technologie

L'Internet des objets (IdO) comme une nouvelle architecture mondiale basée sur Internet des informations qui facilite l'échange des biens et des services gagnent progressivement en importance.

L'utilisation la plus connue de l'IdO est basé sur la technologie RFID (dispositif d'identification par radio fréquence). Dans la pratique, le niveau de sophistication et le

prix de la RFID peuvent être très différents, en commençant par le dispositif passif pas cher sans une source d'alimentation et de stockage limitée à une RFID autoalimenté actif possédant des capacités de stockage et de communication avancés[27].

Certaines des données qui sont recueillies semblent être insignifiantes, mais par exemple les données relatives à un processus de production pourraient être très précieuses nécessitant ainsi une protection appropriée. En outre, tous les téléphones intelligents aujourd'hui portent capteurs de position en leur permettant le suivi permanent de leurs utilisateurs. Tous ces dispositifs IdO sous une forme ajoutent de la valeur aux particuliers ainsi que les entreprises ; Toutefois, ils provoquent aussi des risques.

B. Defis de securite

Les dispositifs IdO recueillir une grande quantité d'informations et, par conséquent, ils portent aussi un grand potentiel de risques de la vie privée par rapport à l'utilisation des données et son accès. Comme dispositifs IdO plus en plus utilisés dans tous les domaines de la vie quotidienne, comme dans le secteur des soins de santé, une grande quantité d'informations privées considéré est stocké et recueilli. [28]

Comme un nombre croissant et la variété des appareils connectés sont introduits dans les réseaux de l'IdO, la menace potentielle pour la sécurité dégenère. Bien que l'IdO améliore la productivité des entreprises et améliore la qualité de la vie des gens, l'IdO également augmenter les surfaces d'attaque potentiels pour les pirates et autres cybercriminels. Une étude récente a révélé que 70% des dispositifs IdO plus couramment utilisés contiennent des vulnérabilités graves [29].

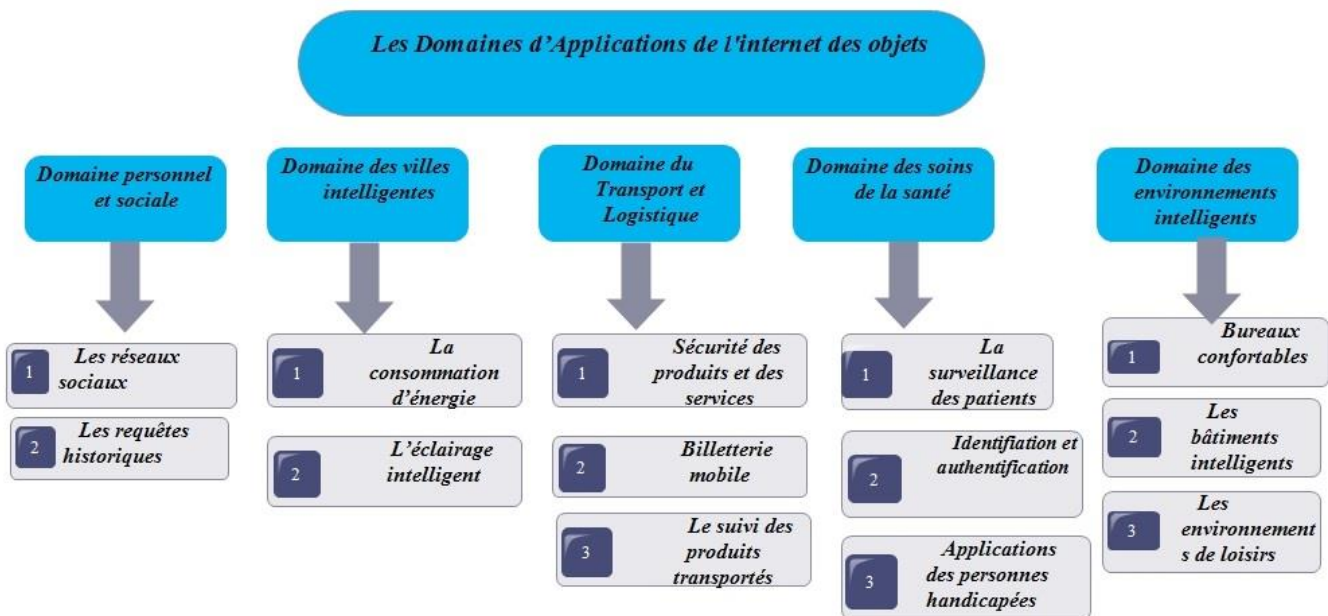


Figure 1 : Les domaines d'application de l'IdO

V. LES DOMAINES D'APPLICATIONS

Les applications peuvent être regroupées en cinq grands domaines : domaine de transport et logistique, domaine de la ville intelligente, domaine d'environnements intelligents, le domaine social et le domaine de la santé. Chaque domaine est attaché aux autres, parce que certaines applications sont partagées par plusieurs domaines. Par exemple la suivi des produits, c'est une application qui est en commun entre le domaine industriel et le domaine de la santé. La figure 1 montre la subdivision des domaines d'application de l'Internet des objets

A. *Domaine personnel et sociale :*

Par analogie avec les services des réseaux sociaux pour les êtres humains, l'internet des objets introduit le concept des relations sociales entre les objets. Les avantages sont la possibilité de donner l'internet des objets qui peuvent être en forme nécessaire pour assurer la navigabilité du réseau [30]. Dans ce domaine, il existe des applications qui permettent à l'utilisateur d'interagir avec les autres pour maintenir et renforcer la relation sociale. En effet, les choses peuvent déclencher automatiquement la transmission de messages à des amis afin qu'ils sachent ce que nous faisons ou ce que nous avons fait dans le passé, partager un peu de choses en commun.

1) *Les reseaux sociaux*

Nous pouvons penser à des étiquettes RFID qui génèrent des événements sur les dates et lieux de gens donnent en temps réel pour les utilisateurs dans leurs réseaux sociaux tels que Twitter, qui est ensuite recueillis et téléchargés sur des sites de réseautage social. Interfaces utilisateur de l'application affichent un flux d'événements que les amis ont déjà établies et les utilisateurs peuvent contrôler leurs listes d'amis de sorte que ces événements sont présentés à tous les amis. Le domaine de l'Internet des choses n'échappe pas à la tendance de l'Internet des objets sociaux. Dans l'internet du futur, la majorité des connexions ne sera pas établie entre les êtres humains, mais entre les appareils (les choses, plus ou moins «intelligent») [7].

2) *Les requettes Historiques*

Plusieurs applications trouvées dans le domaine de requêtes historiques parmi ceux-ci la mise en œuvre est citée : perte (création d'un moteur de recherche pour des choses qui aide à trouver des éléments que nous ne nous souviens pas ou étaient à gauche) et des vols (application peut envoyer un SMS à des utilisateurs pour voir les objets volés ou quitter leurs sièges sans permission) [31].

B. *Domaine des villes intelligentes*

Les villes intelligentes ou bien «Smart City" en anglais, est conçu pour faire un meilleur usage des ressources publiques, l'augmentation de la qualité des services offerts aux citoyens, tout en réduisant les coûts de fonctionnement. L'administration publique a trouvé des applications dans de nombreux domaines, tels que la domotique, l'automatisation industrielle, l'aide médicale, les soins de santé mobiles, aide

aux personnes âgées, la gestion intelligente de l'énergie et les réseaux intelligents, le trafic automobile, de gestion et d'autres [32].

1) *La consommation d'énergie*

La gestion de l'énergie est une exigence vers un environnement durable et le réseau intelligent représente un bloc de construction pour sa réalisation. En effet, la propagation des sources d'énergie renouvelables a conduit à une profonde modernisation du système traditionnel de distribution électrique et sur le chemin de la distribution d'énergie. Le réseau intelligent (ou bien Smart Grid) est défini comme un système de distribution électrique intelligent qui offre des flux d'énergie des producteurs aux consommateurs d'une manière bidirectionnelle. Contrairement aux réseaux électriques traditionnels, où l'énergie est générée uniquement par quelques centrales et " diffusé " pour les clients finaux, via un grand réseau des câbles / transformateurs / stations... Dans le réseau intelligent, les producteurs peuvent également être les clients finaux. Avec l'énergie produite par les micro-réseaux des clients (par exemple, les panneaux solaires, éoliennes installés sur les maisons des clients) qui sera envoyé à la grille, qui gère le stock de l'énergie dans les entrepôts de l'énergie spécifiques. Dans le réseau intelligent les producteurs peuvent également être des clients finaux [33].

2) *L'éclairage intelligent*

Avec les modules d'éclairage intelligents, on peut désormais inverser le fonctionnement de l'éclairage, Au lieu d'allumer les lampes de l'espace publique toute la nuit à forte puissance, il y a des luminaires développés qui sont équipés d'un détecteur de présence, d'un capteur de lumière du jour, d'un outil de transmission sans fil et d'une intelligence embarquée. Le but est d'automatiser le réseau d'éclairage afin de l'adapter aux besoins de l'utilisateur. Les luminaires restent désormais à un niveau minimum, sauf en présence d'utilisateurs de la route (éteindre quand il n'y a personne). Les avantages sont multiples : une diminution de la consommation électrique, de la pollution lumineuse et de l'empreinte écologique du système d'éclairage. Et cela tout en maintenant le confort visuel et la sécurité de chaque usager de l'espace public [34].

3) *Parking Intelligent*

Les nouvelles technologies permettent aujourd'hui d'informer l'usager sur la disponibilité d'une place de stationnement et ce, en temps réel. Amener l'usager directement sur une place libre offre plusieurs avantages : réduire le temps de recherche entraîne une réduction du stress chez le conducteur, une économie de carburant, une diminution du trafic ainsi qu'une réduction des émissions de CO₂, sans compter par ailleurs le confort que peut apporter le paiement à distance [35].

C. *Domaine de Transport et Logistique*

Le secteur du transport et de la logistique est un secteur prometteur pour l'économie, l'importance du secteur du transport et de la logistique est mesurée aussi par son impact direct sur la compétitivité du tissu économique aussi bien en termes d'exportation que l'importation qui est la raison pour laquelle on trouve plusieurs demande dans ce domaine tels que la logistique, aide à la conduite, la billetterie mobile ... etc.

1) Sécurité des produits et des services

Les puces RFID peuvent être attachées à des objets pour identifier les matériaux et les produits, qu'ils soient des vêtements, des meubles, des équipements, de la nourriture et des liquides. Leur utilisation aide à gérer efficacement les entrepôts et les ventes en détail, et de simplifier l'inventaire en fournissant une connaissance précise de l'inventaire actuel, tout en réduisant les erreurs d'inventaire. Aussi pour assurer la fraîcheur des produits (par exemple, les fruits, les légumes, aliments congelés), on utilise des capteurs pour surveiller la température et l'humidité à l'intérieur des entrepôts ou des entrepôts frigorifiques. En outre, l'intégrité du produit peut être garantie en utilisant des procédés d'authentification RFID basé sur d'autres applications de l'IdO très intéressants comme les systèmes qui surveillent les habitudes d'achat des utilisateurs par le suivi de leurs téléphones mobiles et de les guider dans les magasins / supermarchés..., ou suggérant des produits en promotion ou d'aider les clients dans les opérations de paiement [36].

2) Billetterie mobile

Dans ce domaine, il y a des affiches dans les gares ou les aéroports, qui fournissent des informations concernant le transport tels que le prix et le temps ... ces affiches sont équipées des balises NFC (Near Field Communication: est une technologie standard basé sur une connexion sans fil à courte portée qui a permis simple et les interconnexions des pairs à pairs entre appareils électroniques) [37]. L'utilisateur peut ensuite obtenir des informations sur plusieurs catégories d'options sur le web, soit par son téléphone mobile planant sur le tag NFC, ou en pointant le téléphone mobile sur les marqueurs visuels. Le téléphone mobile devient automatiquement capable d'avoir les informations sur plusieurs services Web (stations, le nombre de passagers, les coûts, la disponibilité et le type de services) Cette application permet également à l'utilisateur d'acheter des billets en ligne [9].

3) Le suivi des Produits Transportés

Parmi les marchandises transportées on trouve les produits frais tels que les fruits et la viande aussi les produits laitiers, ce sont des produits vitaux de nos aliments. Pour les milliers de kilomètres transportées, il doit être contrôlée pour éviter l'incertitude du niveau de la qualité des produits. Travailler sur les technologies informatiques et de capteurs ubiquitaires ces technologies sont capables de maintenir la température et l'humidité à l'état normal.

D. Domaine de Santé

L'internet des objets va jouer un rôle essentiel pour développer des services intelligents et de soutenir et de renforcer les activités de la société et des personnes. Ces services permettent aux peuples de vivre de façon indépendante, et à améliorer leur santé pour cela, il y a des nombreux avantages offerts par la technologie Internet des choses comprennent : le suivi des objets et des personnes (personnel et les patients), des paramètres médicaux, surveillance de l'administration et des médicaments, et l'identification et l'authentification de personnes... [38].

1) La surveillance des Patients

Le secteur médical et de la santé sera fortement affectée par des applications IdO. Les dispositifs de détection avancées permettent une surveillance en temps réel de la médecine, les paramètres, et les fonctions vitales (par exemple, la pression la température, le sang, fréquence cardiaque, taux de cholestérol). Les données recueillies sont ensuite transmises par l'intermédiaire des technologies de communication standards ou spécifiques (par exemple, Bluetooth, ZigBee, Wireless...) et mis à la disposition du personnel médical pour le diagnostic et le contrôle des patients [39].

2) Identification et Authentification

L'identification des patients sert à réduire les malveillants incidents aux patients (par exemple, mauvais médicament / dose / temps / procédure), également l'identification du dossier médical complet et la mise à jour de tout ce qui concerne les personnels et les patients. L'identification et l'authentification est le plus souvent utilisés pour accorder l'accès et d'améliorer le moral des employés en fonction de la sécurité des patients, et aussi sont utilisés pour répondre aux exigences des procédures de sécurité pour empêcher le vol ou la perte des produits et d'instruments [40].

3) Application pour les personnes Handicapées

On trouve une application qui s'appelle « système de navigation aveugle » pour les personnes ayant une déficience visuelle au shopping. Ce système de navigation aveugle aide ces personnes à trouver leur chemin dans un magasin. Basé sur le système RFID du magasin qui peut utiliser des logiciels pour guider les malvoyants dans leurs achats, comme indiqué sur la figure 2, le supermarché est divisé en cellules contenant une tablette et les cellules de passage. Les étiquettes RFID sont distribuées à travers le plancher. Les ID d'étiquette à l'intérieur d'une cellule sont mises en correspondance à des informations de navigation telles que le type d'une cellule donnée et des types de cellules voisines. La station de surveillance (téléphone intelligent) maintient une connexion Bluetooth avec le lecteur RFID (de canne intelligente) de l'utilisateur pour garder une trace de son poste à tout moment en utilisant la cartographie des ID d'étiquette avec les informations de navigation.[41]



Fig. 2. Système de navigation aveugle pour le shopping

L'internet des objets va jouer un rôle très important dans domaine de la santé dans un avenir proche parce que les applications dans ce domaine sont énormes. Aujourd'hui, avec ces applications, il est facile pour les personnes ont un

handicap de faire leurs activités chaque jour, et il augmente leur autonomie et leur confiance en soi.

E. Domaine des environnements intelligents

Un domaine d'environnement intelligent est un domaine concerné par l'utilisation facile et à l'aise avec les lieux de travail et les bureaux confortables et aussi l'intelligence des objets de contenu, que ce soit une maison, un établissement industriel, ou un environnement de loisirs.

1) Bureaux confortables

Capteurs et actionneurs dans les bureaux peuvent rendre notre vie plus confortable à plusieurs égards : le chauffage des chambres et l'éclairage de bureau peuvent changer en fonction de l'heure de la journée, les systèmes de surveillance et d'alarme appropriés, et aussi de l'énergie peuvent être sauvés par éteint automatiquement de l'équipement de l'électricité lorsqu'ils ne sont pas nécessaires.

2) Les bâtiments intelligents

Dans une ville intelligente, les Bâtiments ou bien les maisons intelligentes seront équipés d'une multitude des capteurs et de dispositifs intelligents (par exemple, les passerelles haut débit, téléphones mobiles, ordinateurs portables, PC, TV, haut-parleurs, et des caméras de surveillance...) qui, sont intégrés avec les technologies de communication (RFID, WSN...) dans les bâtiments et les maisons résidentielles, donnent lieu à une large gamme d'applications.

Par exemple au domaine des domotiques on trouve beaucoup des applications IdO. Certaines applications utilisent les capacités les plus simples possibles par l'IdO, (par exemple, la vidéosurveillance, détection d'intrusion, gestion des accès...).

Plus d'applications avancées peuvent permettre d'utiliser le smartphone comme une télécommande unique de gérer tous les dispositifs de maison (par exemple, pour éteindre certains appareils laissés sur inconsiderement) et de suivre les habitudes des utilisateurs par le suivi de leurs téléphones mobiles à faire plus confortable notre maison de vie.

3) Les environnements de loisirs

Environnements intelligents de loisirs, comme le musée et la salle de gym sont deux environnements intelligents de loisirs, sont deux exemples où l'Internet des choses technologies sont exploitées. Par exemple, le Musée peut exposer les différentes périodes historiques avec très divergentes des conditions climatiques. Les locaux du Musée ajustent automatiquement aux conditions extérieures (température, humidité ...). Une autre application est dans la salle de gym, où les formateurs peuvent télécharger le profil de l'exercice pour chaque machine de joueur, lorsque le joueur prend la machine, il sera automatiquement reconnu par les étiquettes RFID connecté à la machine. Aussi les paramètres de santé seront surveillés pendant l'entraînement [42].

VI. LES APPLICATIONS FUTURISTES

Comme discuté dans la section précédente, l'IdO peut ouvrir des nouvelles opportunités pour créer des applications

innovantes. Certaines applications strictement appartenir à un domaine spécifique et présentent des caractéristiques particulières de ce domaine. D'autres applications présentent des caractéristiques transversales de multiples domaines. Dans cette section, nous discutons les applications futuristes de l'IdO dans des domaines importantes

1) L'aérospatiale et de l'aviation:

L'internet des objets va renforcer la sécurité des produits et des services de protection contre la contrefaçon entre eux. Un problème face à l'aviation, 28 incidents ont causé, 4 aux États-Unis par des composants contrefaits non conformes aux normes de sécurité. Ces incidents pourraient être évités par l'introduction d'un «pedigree électronique» qui va façonner le cycle de vie des éléments critiques de l'aéronef, de leur fabrication à leur utilisation. Ceci est réalisé en reliant la technologie RFID à une base de données dynamique. Cette base de données peut être couplée avec d'autres éléments des avions que différents capteurs (pression, température ...) et des systèmes de sécurité.

2) Télécommunications

Basé sur des technologies existantes, internet des objets va promouvoir le développement des nouvelles applications et des nouveaux services dans le domaine de télécom. Par exemple, dans le cas de la NFC, nous communiquons tout simplement et en toute sécurité avec des objets différents par «balayage» avec un téléphone mobile qui va transmettre les données à un serveur. L'interconnexion des objets crée un vaste réseau d'échange des données qui permet même de garder un moyen de communication en cas de défaillance de l'infrastructure actuelle des télécommunications [43]. En outre, la gestion des données personnelles par les offres de carte de SIM a augmenté la sécurité pour l'authentification, l'échange de données confidentielles, ou même le paiement par téléphone portable.

3) Les bâtiments intelligents et leurs instrumentations

Parmi tous les secteurs économiques, on trouve le secteur du bâtiment est le plus grand consommateur d'énergie. La technologie de pointe à l'Internet des objets dans ce secteur peut aider à réduire la consommation de ressources liés à la construction (électricité, eau), ainsi que d'améliorer le niveau de satisfaction des humains qui habitent ou travaillent dans des immeubles de bureaux ou des locataires de maisons privées [44]. Des solutions telles que les compteurs intelligents sont de plus en plus populaire pour mesurer la consommation d'énergie et de la transmission, par téléphone ou par le titulaire actuel en ligne pour le gestionnaire des données de comptage. Toujours dans une logique d'objets interconnectés, ce type de solution peut être combiné avec d'autres capteurs (température, humidité) afin de fournir des informations générales et spécifiques sur les bâtiments formant un environnement intelligent et économique.

4) Logistique et gestion de la chaîne d'approvisionnement

La mise en œuvre de l'internet des objets dans le domaine de la logistique et de la gestion du chaîne d'approvisionnement, présente plusieurs et multiples avantages : éléments équipés de RFID et intelligents étagères qui suivent les éléments en temps réel [6], permet d'optimiser les nombreuses applications, telles que : la vérification automatique de la réception des

marchandises, suivis par les stocks, suivi hors-stocks ou la détection de vol à l'étalage dans la traçabilité en temps réel. On utilisant la puce RFID, pour assurer l'échange des données des produits, la gestion intelligente des stocks, la vérification automatique des entrées / sorties de produits Ces applications vont générer un gain de temps et des économies importantes dans la logistique. Ci-dessous un tableau récapitulatif des domaines d'applications possibles de l'Internet des objets [3,45 et 4].

TABLEAU 1 : LES DOMAINES D'APPLICATION FUTURISTES

Domaine d'application	Description	Exemple
Santé	Pharmaceutique et la surveillance des produits	Contrôle pharmaceutique et le suivi des patients.
Industrie	Activités commerciales ou financières entre les entreprises	La Fabrication, la logistique et les services commerciaux
Environnements	Protection, suivi et développement des ressources naturelles	L'agriculture, l'élevage, le recyclage et la gestion de l'environnement
Société	Développement des villes pour les citoyens	Maison intelligente et les villes intelligentes

CONCLUSION

L'Internet des objets est devenu une priorité pour la recherche et le développement dans les 15 dernières années. Une grande quantité d'investissements pour l'Internet des objets est toujours faite par des organismes gouvernementaux et de l'industrie dans le monde entier.

Comme décrit dans ce document, l'Internet des choses donne une idée des possibilités offertes par un certain nombre de technologies existantes et futures qui, ensemble, pourraient, dans les 5-10 prochaines années, changer le mode de fonctionnement de nos sociétés en profondeur. C'est une évolution de nos systèmes d'information et de communication, qui se traduira par l'internet des objets. Mais l'acceptation de l'IdO par la société sera fortement liée au respect de la vie privée et la protection des données personnelles, nous espérons que cette enquête sera utile pour les chercheurs et praticiens dans le domaine, les aidant à comprendre l'énorme potentiel de l'IdO et quels sont les principaux domaines d'application de l'internet des objets qui sont capables de transformer l'IdO d'une vision de la recherche a des applications en réalité. Différent des autres documents de l'enquête de l'IdO, une contribution principale de ce document d'examen est qu'il se concentre sur des applications récentes de l'IdO et met en lumière les défis et les opportunités de recherche possibles pour les futurs chercheurs dans ce domaine.

VII. FUTURE DERICTIONS

Selon notre sondage sur les technologies et les applications de l'Internet des Objets, beaucoup de recherches sont nécessaires afin de rendre l'IdO paradigme devenir réalité. Dans cette section, les futures → orientations de recherche sont suggérées :

développement de nombreuses applications de près ou directement applicables à notre vie présente, tels que les domaines personnels et sociaux, de la mobilité et de transport, domaines entreprise et les domaines de l'industrie.

→ Sécurité et confidentialité questions devraient être examinées très au sérieux depuis IdO traite non seulement des énormes quantités de données sensibles (données personnelles, données commerciales, etc.), mais a aussi le pouvoir d'influencer l'environnement physique avec ses capacités de contrôle. Environnements de cyber-physiques doivent donc être protégés de toute forme d'attaques malveillantes.

→ Identifier, classer et catégoriser les technologies IdO, dispositifs et services qui stimuleront le développement IdO et soutenir la vision IdO.

→ Conception de normes d'architecture aurait bien définis des modèles de données abstraites, les interfaces et protocoles, ainsi que les liaisons concrètes aux technologies neutres afin de soutenir la plus large possible des êtres humains, des logiciels, des objets ou des dispositifs intelligents.

→ Développement de nouveaux cadres qui concernent des programmes mondiaux d'identification, la gestion des identités, le codage de l'identité / cryptage, l'authentification ainsi que la création de services mondiaux de recherche d'annuaire et de découverte pour les applications de l'IdO avec divers schémas d'identification.

REFERENCES

- [1] Coetzee.L, Fksteen.J, "The internet of things – promise for the future? An introduction", IST-Africa Conference Proceedings, 2011.
- [2] M. Aazam, I. Khan, A. A. Alsaffar, E.-N.Huh, "Cloud of internet integrating Internet of things and cloud computing and the issues involved", 11th International Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST), 2014.
- [3] H. Sundmaecker, P. Guillemin, P. S. Woelfflé, "Vision and Challenges for Realising the Internet of Things", Gerald Santucci, Head of Unit DG INFSO Unit D.4; European Commission, Mars 2010
- [4] P. Jappinen, R. Guameri, L. M. Correia, " An applications perspective onto the Future Internet", Journal of Network and Computer Applications, vol.36, pp: 249-254, 2013
- [5] Palattella M., Accettura N., Vilajosana, X. et al., « Standardized Protocol Stack for the Internet of (Important) Things », IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013.
- [6] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, I. Chlamtac, « Internet of things: Vision, applications and research challenges », Ad Hoc Networks, vol.10, pp : 1497–1516, 2012.
- [7] Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito, "The Internet of Things: A survey", Computer Networks, vol.54, pp. 2787–2805, 2010.
- [8] D. Singh, G.Tripathi, Antonio J. Jara, « A survey of Internet-of-Things: Future Vision, Architecture, Challenges and Services », IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2014.

- [9] Eleonora Borgia, "The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues", *Computer Communications*, Vol. 54, pp: 1–31, 2014.
- [10] R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer and S. Khan, "Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges," in *Frontiers of Information Technology (FIT), 2012 10th International Conference On*, 2012, pp. 257-260
- [11] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Comput. Syst.*, vol. 29, pp. 1645-1660, 2013.
- [12] P. Lopez, D. Fernandez, A. J. Jara and A. F. Skarmeta, "Survey of internet of things technologies for clinical environments," in *Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2013 27th International Conference On*, 2013, pp. 1349-1354.
- [13] D. Yang, F. Liu and Y. Liang, "A survey of the internet of things," in *Proceedings of the 1st International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI2010)*, 2010, pp. 358-366.
- [14] A. Gluhak, S. Krco, M. Nati, D. Pfisterer, N. Mitton and T. Razafindralambo, "A survey on facilities for experimental internet of things research," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 49, pp. 58-67, 2011.
- [15] Z. Sheng, S. Yang, Y. Yu, A. V. Vasilakos, J. A. McCann and K. K. Leung, "A survey on the ietf protocol suite for the internet of things: standards, challenges, and opportunities," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 20, pp. 91-98, 2013.
- [16] Y. Huang, Z. Yang, S. Xiong "Design and Implementation of A Bicycle Parking System Based on Internet-of-things" *National Conference on Information Technology and Computer Science (2012)*. Pp : 593 – 596.
- [17] A. Bielsa (2012, Feb. 10) *Smart Water project in Valencia to monitor Water Cycle Management* [Online] Available: http://www.libelium.com/smart_water_cycle_monitoring_sensor_network/
- [18] Q. Wei, S. Zhu, C. Du, "Study on key technologies of Internet of Things perceiving mine," *Procedia Engineering*, vol. 26, pp. 2326-2333, 2011.
- [19] B. Karakostas, "A DNS architecture for the Internet of Things: a case study in transport logistics," *Procedia Computer Science*, vol. 19, pp. 594-601, 2013.
- [20] Y. Zhang, B. Chen, and X. Lu, "Intelligent monitoring system on refrigerator trucks based on the Internet of Things," *Wireless Communications and Applications*, vol. 72, pp. 201-206, 2012
- [21] I. F. Akyidiz, M. Pierobon, S. Balasubramaniam, and Y. Koucheryavy, "The Internet of Bio-NanoThings", *IEEE Communications Magazine*, pp: 32-40, March 2015.
- [22] Imran Erguler, "A potential weakness in RFID-based Internet-of-things systems", *pervasive and mobile computer*, vol. 20, pp. 115-126, 2015.
- [23] H. Yang and S. Ynag "RFID sensor network architectures to integrate RFID, sensor and WSN" *Measurement and Control*, pp. 56-59, 2007
- [24] Y. Laiwu, C. Deyun, and Z. Hongwei, "Research on key technology of internet of things based on FRID," *Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), 2011 International Conference on*. IEEE, pp. 355–358, 2011
- [25] Alamri, A., Ansari, W. S., Hassan, M. M., Hossain, M. S., Alelaiwi, A., Hossain, M. A., "A survey on sensor-cloud: architecture, applications, and approaches", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013.
- [26] Rolf H. Weber, "Internet of things: privacy issues revisited," *computer low & security review*, vol. 31, pp. 618–627, 2015.
- [27] Nathalie Mitton, David Simplot-Ryl, "from the internet of things to the internet of the physical world", *Comptes Rendu Physique*, vol. 12, pp: 669-674, 2011.
- [28] Hewlett Packard. (2014, July 29). HP study reveals 70 percent of Internet of Things devices vulnerable to attack. Retrieved from: <http://www8.hp.com/us/en/hp-news/pressrelease.html?id=1744676#.VOTykPnF-ok>
- [29] Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, Marimuthu Palaniswami, "internet of things (IoT): A vision, architectural, elements, and future directions", *future generation computer science*, vol. 29, pp. 1645-1660, 2015.
- [30] Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito « SIoT: Giving a Social Structure to the Internet of Things », *IEEE Communications Letters*, vol. 15, pp: 1193_1195, November 2011.
- [31] Hamid ZargariAsl, Antonio Iera, Luigi Atzori, Giacomo Morabito, "Analysis of the properties of a social network of IoT devices based on real data", *IEEEExplore Digital Library*, vol. 6, 2013.
- [32] Andrea Zanella, Nicola Bui, Angelo Castellani, Lorenzo Vangelista, Michele Zorzi, "Internet of Things for Smart Cities", *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, vol. 11, 2014.
- [33] A.K. Evangelos, D.T. Nikolaos, C.B. Anthony, "Integrating RFIDs and smart objects into a Unified Internet of Things architecture", *Advances in Internet of Things*, 2011.
- [34] J. Clerk Maxwell, "A Treatise on Electricity and Magnetism", 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [35] I. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in *Magnetism*, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
- [36] Kwang-Cheng Chen, Shao-Yu Lien, "Machine-to-machine communications: Technologies and challenges", *Ad Hoc Networks*, vol. 18, pp: 3-23, 2014
- [37] D. Uckelmann, M. Harrison, F. Michahelles (Eds.), "Architecting the Internet of Things", vol. 1, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2011.
- [38] F. Michahelles, F. Thiesse, A. Schmidt, J.R. Williams, "Pervasive RFID and Near Field Communication technology", in *IEEE pervasive computer*, p. 94-96, 2007
- [39] Danilo F.S. Santos, Hyggo O. Almeida, Angelo Perkusich, "A personal connected health system for the Internet of Things based on the Constrained Application Protocol", *Computers and Electrical Engineering*, vol 15, 2015
- [40] Alexandre Santos, Joaquim Macedo, António Costa, M. João Nicolau, "Internet of Things and Smart Objects for M-Health Monitoring and Control", *Procedia Technology*, vol. 16, pp: 1351–1360, 2014.
- [41] Mari Carmen Domingo, "An overview of the Internet of Things for people with disabilities", *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 35 pp: 584–596, 2012.
- [42] Charith Perera, "The Emerging Internet of Things Marketplace From an Industrial Perspective: A Survey", *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 2015
- [43] Farhana Jabeen, Sarfraz Nawaz, "In-network wireless sensor network query processors: State of the art, challenges and future directions", *Information Fusion*, vol. 25, pp: 1-15, 2015
- [44] Yaqi Xu, Rui Jiang, Shiyi Yan, Di Xiong, "The Research of Safety Monitoring System Applied in School Bus Based on the Internet of Things", *Procedia Engineering*, vol. 15, pp: 2464 – 246, 2011.
- [45] Yinong Chen, Hualiang Hu, "Internet of intelligent things and robot as a service", *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 34, pp: 159-171, 2013.

Hybrid Intrusion Detection Systems (HIDS) in Cloud Computing: Challenges and Opportunities

¹Al Haddad Zayed, ²Hanoune Mostafa, ³Mamouni Abdelaziz, ⁴Boukouchi youness

Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Sciences Ben M'sik, Hassan II University Casablanca
Casablanca, Morocco

¹Alhaddadtri@gmail.com

²Mhanoune@gmail.com

³Mamouni.abdelaziz@gmail.com

⁴y.boukouchi@gmail.com

Abstract—Nowadays, Cloud computing has become unavoidable in the implementation and provision of IT services on demand through internet. However, one of the major concerns of this new technology today is to ensure the security of its infrastructure. Indeed, the virtual machines consolidation, belonging to different tenants, on the same host poses a number of challenges in terms of security for cloud computing platforms. Consequently, virtual network security in cloud environment has become essential. In this paper, we present a description of the main operation of a virtual network basing on Xen platform. We focus on the study of some potential attacks on this network. Then, we analyze some existing cloud based Hybrid Intrusion Detection Systems (HIDS) with respect to their positioning, detection time, detection technique, pros and cons. The analysis also provides limitations of each model to evaluate whether they fulfil the security requirements for cloud.

Keywords—Xen platform, IDS, HIDS, Virtual network, Cloud Computing

I. INTRODUCTION

Cloud computing has emerged, in recent years, as an important paradigm in the use of computing resources as a service over the Internet. Numerous definitions of cloud computing exist in the literature. For some, Cloud computing means all hosting services, for others, it is designed to provide a remote infrastructure. According to the official NIST definition, "cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction." So, it is a dematerialization of IT infrastructure. This technology offers a number of tangible benefit[1] viz; quick deployment, easier scale of services, cost efficiency, almost unlimited storage, backup and recovery, automatic software integration, easy access to information and delivers new services. Despite its advantages, Security of cloud infrastructure is considered a key barrier to the broader adoption of cloud computing. For that, Security should be integrated in all aspects of cloud platforms to make users trust that their data is secure[2][3]. As a result, virtual network security in cloud environment has become essential.

The rest of this paper is organized as follows: Section II describes the main operation of virtual network in Xen platform; it is divided into two subsections. The first part describes vulnerabilities on virtualized environment. The second part describes the virtual network. Section III presents an analysis of existing cloud based Hybrid Intrusion detection systems. Section IV concludes our research work with references at the end.

II. MAIN OPERATION OF VIRTUAL NETWORK IN XEN PLATFORM

A. Virtualization: Vulnerabilities and issues

Virtualization Technology is a concept that has been emerged in the 1960s. This technology has become a key technical component of cloud computing that allows its platforms to dynamically allocate VMs as scalable Internet services[4]. However, VM's security has become a significant concern. Indeed, a compromised VM by attackers can affect all VMs collocated on a same physical server[5]. Several articles have presented security issues and vulnerabilities through the virtualization. In [4][6][7][8], five vulnerabilities and issues were presented viz;

- Virtual machine snapshot: It preserves the state and data of a virtual machine at a specific point in time. This rollback provides flexibility to users. However, it brings some security concerns. For instance, the rollback can enable the security credentials that were previously disabled[9]. It can also render the VM to a vulnerability that was previously patched. Moreover, it can revert the VM to previous security policies and configuration errors[10].
- Breach of the isolation: One of the main goals of a hypervisor is to ensure that the hosted VMs are isolated. However, bad configuration of hypervisor can allow an attacker to break out of the isolation. This can lead to denial of service. Remote administration interfaces give rise to new forms of vulnerability such as injection (SQL, OS, and LDAP), broken authentication and session management, cross-site scripting (XSS), insecure direct object references, security misconfiguration, sensitive data exposure,

missing function level access control, cross-site request forgery (CSRF), using known vulnerable components and invalidated redirects and forwards[11].

- Denial of service: In this attack type, a virtual machine uses all the computing capacities preventing the other VMs from running correctly[12][13].
- VM Rootkits: A rootkit is malicious software which hides the existence of processes or hypervisor or software in order to gain control over the installed VMs[8].

In addition to these vulnerabilities and issues, as has been mentioned above, Mazhar et al. [9] have added three other viz; VM migration, Hypervisor issues and VM sprawl.

- VM migration: It is the process of relocating a VM to another physical machine without shutting down the VM. During the migration phase, the contents of the VM are exposed to the network that might lead to data privacy and integrity concerns. Besides data, the code of VM also becomes vulnerable to attackers during migration[6]. The migration module can be compromised by an attacker to relocate the VM to a compromised server or under the control of compromised hypervisor.
- Hypervisor issues: A compromised hypervisors can put all the VMs that are managed by the victim hypervisor under attacker's control [14].
- VM sprawl: It is a situation where a number of VMs on the host system is continuously increasing and most of the already instantiated VMs are in idle state. The VM sprawl causes the resources of the host machine to be wasted on large scale.

B. Virtual network

Virtual network is a logical network built over a physical network[9]. It allows the isolation between VMs in order to guarantee that one VM can not affect the others running in the same host. There are many hypervisor offering virtual network mechanisms. Xen is an open source hypervisor developed by the University of Cambridge, and runs at most 128 complete operating systems in a host. Xen is the powerful open source industry standard for virtualization. Today, The Xen hypervisor is becoming the fastest and most secure infrastructure virtualization solution[15]. It supports a wide range of guest operating systems including Windows, Linux, Solaris and various versions of the Free BSD. Xen mainly provides two types of virtual network to transfer packets between VMs and outside physical network viz;

- Bridge mode: This mode instructs Xen to attach the VMs interfaces directly to software Ethernet Bridge connected to the physical network.
- Route mode: The second mode offered by Xen for the configuration of virtual network.

According to H. Wu et al. [16] the bridge mode plays a role as virtual hub. Indeed, all VMs share this virtual hub to communicate with network. However, a malicious VM is easy

to sniff the virtual network by using sniff tool such as Wireshark, whereas the route mode plays a role as a virtual switch. This virtual switch uses a dedicated virtual interface to connect each VM. However, a VM can make an Address Resolution Protocol (ARP) spoofing attack.

To prevent sniffing and spoofing in these virtual networks, the authors have proposed a network model that isolates a group of VMs. In this model, the VMs are split into shared subnetworks and are assigned unique IDs for preventing communication between subnetworks. Then, they have established a firewall between the subnetworks to prevent spoofing. This solution allows preventing sniffing and spoofing attacks. However, it cannot prevent other attacks aforementioned in above paragraph. For that, the necessity to research a comprehensive and reliable solution that can detect all attacks has become essential.

III. ANALYSIS OF EXISTING CLOUD BASED HIDS

Intrusion Detection Systems (IDS) is one of automated security control recommended by the Cloud Security Alliance (CSA) for cloud computing environments[17]. In the Cloud computing environment, the deployment of already obtainable intrusion detection system and prevention systems IDS/IPS cannot succeed the specified level of security and performance. Indeed, the existing IDS and IPS have lack of scalability and self-adaptability. Moreover, they are not deterministic which makes them unsuitable for cloud computing environment. There are four types of Cloud computing based IDS viz; Host based IDS, Network based IDS, Hypervisor based IDS and Distributed IDS. The table I summarizes the aforementioned cloud based IDS in tabular format.

The most common intrusion detection techniques used by these IDS are based on behaviour of users and signatures of known attacks. However, these traditional IDS cannot detect both known and unknown attacks. To overcome these issues, it is necessary to use a combination of these techniques. Indeed, several authors have used hybrid detection techniques viz; N. modi et al.[19], Vieira, et al. [20], Tupakula et al. [21], H. Kholidy and F.Baiardi [22], M. P. K. Shelke et al. [23], N. Modi et al.[24], Dhage et al. [25], Araújo et al. [26], Idress et al. [27] and many others. In [20] a novel security framework has been proposed. This framework integrates Hybride-Network Intrusion Detection System (H-NIDS) to cloud using the classifiers bayesian, associative and decision tree as an anomaly detection and snort as a Signature based detection to implement this framework. It aims to detect network attacks in cloud by monitoring network traffic, while ensuring performance and service quality. Performance and detection efficiency of H-NIDS have been evaluated for ensuring its feasibility in cloud. The experiments demonstrated that the proposed framework has higher detection rate and low false positives at an affordable computational cost. However, the associative classifier generates a high number of false positives, while individually used it.

Vieira et al. have proposed a Grid and Cloud Computing Intrusion Detection System (GCCIDS). In this architecture, each node of Grid and Cloud identifies local events that could

Table I Cloud based intrusion detection system

Type of IDS	features	Limitations/ Challenges	Position in Cloud	deployment and monitoring
Host_based IDS.	Identify intrusions by monitoring system activity (Logs, Files system, etc.)	It must be installed on each machine (VM, hypervisor, host). Monitors the machine where it is deployed.	In each virtual machine, in hypervisor or in host machine.	In VMs: Cloud user. In hypervisor or in a host machine: cloud provider.
Network_based IDS.	Identify intrusions by monitoring network traffics.	Difficulties of detecting intrusions in a virtual network. Can only detect intrusions coming from the network where it is deployed.	In an external or virtual network.	Cloud provider
Hypervisor_based IDS.	Monitor and analyze communication between VMs, between hypervisor and VMs and between hypervisor and virtual network. It is the most suitable for cloud[18].	Resources on the subject are limited. Difficult to understand.	In Hypervisor.	Cloud provider
Distributed IDS	It allows a company to efficiently manage its incident analysis resources and to identify threats to the network across multiple network segments [DIDS].	The adoption of DIDS is still challenging due to the complex architecture of the infrastructure and the distinct kinds of users lead to different requirements and possibilities for being secured.	It operates both on host as well as network.	Cloud provider

represent security violations and alerts the other nodes. Each individual IDS cooperatively participates in intrusion detection. IDS service is composed of two components viz; Analyzer and Alert System. The event auditor captures data from various sources such as the log system, service and node messages. IDS service analyzes this data and applies detection techniques based on user behavior and knowledge of previous attacks. Knowledge based technique is used to detect known attacks, whereas the behavior based technique is used to detect unknown attacks. For detect unknown attacks, feed-forward artificial neural network is used. When any attack or intrusion is detected, alert system informs other nodes. So, this approach is efficient for detecting known attacks by using knowledge base as well as unknown attacks by applying feed forward ANN. The result show that the false positive and false negative alarm rate is very low when large numbers of training samples of intrusion attack are applied for behavior analysis method. However, it requires more training time and samples for detection accuracy. For securing customer virtual machines from different types of attacks in the Infrastructure as a Service cloud (IaaS), Tupakula et al. have proposed a model based on a hypervisor. A hypervisor solution embeds as a software layer to control the physical resources and it allows running multiple operating systems. The hypervisors are capable to improve the efficiency of attack detection in cloud. Indeed, they have complete control of the system resources and good visibility of the internal state of the VMs. The proposed model improves the reliability and availability of the system. In fact, the infrastructure can be secured most of the time. However, it has not presented any solution to heal the system if the infrastructure collapsed due to the high severe attacks over the system. Kholidy and Baiardi have proposed a cloud that has a scalable and elastic architecture with a P2P solution for cloud and no central manager coordinator. The framework's architecture distributes the processing load at several cloud locations and isolates the user tasks from the cloud by executing them in a monitored virtual machine. It

collects events and audits from VMs so that the detector and correlator components can analyze them. Each node also includes an audit system that monitors messages among nodes and the middleware logging system, and collects events and logs from the VMs. the proposed system is scalable. However, it is not sufficient for detecting large scale distributed attacks and there is no central correlation handler to amalgamate all the alert information consistently to detect intrusions. Shelke et al. have proposed a multi-threaded NIDS based on three modules viz; capture, reporting and analysis and processing module. This model allows to solve the problem of Cross Site Scripting (XSS) and DDoS attacks. However, the implementation details are not provided. N. Modi et al. have proposed and implemented a HIDS which uses Bayesian classifier to predict that the given event is attack or not by observing previously stored network events, and Snort to detect known attacks. The proposed model consists of three main components viz; Packet Preprocessing, Analyzer and Storage module. In this framework, signature based detection technique is applied prior to anomaly detection, resulting in better detection time since anomaly detection technique detects just unknown attacks. However, detection rate is only improved by sending alert to other NIDS. Dhage et al. have proposed an architecture in which the IDS controller deploys a mini IDS instance between the user and cloud service provider. Whenever the user wants to access any service, it is duty of the IDS controller to provide IDS instance to that user. IDS instance monitors each of the user's activities and sends a log of complete session to IDS controller which will be stored in cloud logs. The next time when the user starts session, IDS controller will query the Knowledge Base. This Knowledge Base contains information about the pattern of user's activities based on the information stored in cloud logs. It can use neural networks to learn new pattern. According to the authors, the main advantage is the reduction in workload because it is split between multiple instances to carry the work in a better way rather than letting single IDS for the whole cloud.

Table II Analytical study of hybrid ids in cloud computing

Comparison Criteria References	IDS type	Detection time	Positioning	Advantages	Limitations/Challenges
a novel security (H-NIDS) in cloud, 2013[19].	Network based	Real time	On each host machine.	Monitor and detect known and unknown attacks in virtual network. Higher detection rate and low false positives at an affordable computational cost.	Associative classifier generates a high number of false positives, while individually used it.
Intrusion Detection for Grid /Cloud Computing, 2010 [20].	Host based	Real time	On each node.	False rate for unknown attack is lower since ANN used.	Requires more training samples as well as more time for detecting intrusions effectively.
Intrusion Detection Techniques for IaaS Cloud, 2011[21].	Hypervisor based	Real time	On hypervisor.	Efficient for attack detection in cloud because the hypervisor has complete control of the system resources and good visibility of the state of the VMs.	This model has not presented any solution to heal the system if the infrastructure collapsed.
CIDS: A framework for Intrusion Detection in Cloud Systems, 2012[22].	Host based and Network based.	Real time	On each node.	a scalable and elastic architecture with a P2P solution for Grid and cloud computing	It is not sufficient for detecting large scale distributed attacks and there is no central correlation handler.
Intrusion detection system for cloud computing, 2012[23].	distributed	Real time	At the processing server.	Can help CSP to improve its quality of service, detects unknown attacks	Implementation details are not given to prove the concept.
Bayesian Classifier and Snort based NIDS in Cloud, 2012[24].	Network based	Real time	At the processing server.	Can detect all types of attacks.	Detection rate is only improved by sending alert to Other NIDS.
Intrusion Detection System in Cloud Computing Environment, 2011[25].	Host based and network based	Real time	On each node.	Each instance of the IDS has to monitor only a single user Advantage of having fewer loads on single IDS, and hence, the number of packets dropped will also be less.	The host can subvert the individual IDS deployed at any VM which will then not be able to detect network intrusions. Moreover, experimental results are not provided.
EICIDS-Elastic and Internal Cloud-based Detection System, 2015[26].	Host based	Real time	On each node and outside the virtual environment	EICIDS uses characteristics of virtualization as insulation, quick stop, fast start-up and elasticity to protect virtual machines.	The architecture of EICIDS is centralized "IDS admin", this it is not tolerant to failure.
Framework for Distributed and Self-healing Hybrid IDS/IPS,2013[27].	Host based and network based	Real time	On hypervisor	Versatile coverage scenarios, detection and prevention functions.	High computation cost which could be controlled with efficient implementation.

However, it is a theoretical model. Araújo et al. have proposed an Elastic and Internal Cloud-based Detection System (EICIDS), which is based on protection of virtual machines against internal users who can use some VMs to perform malicious activities. Monitoring of virtual machines is done by IDS sensors scattered in the cloud environment, and the instantiation of these sensors is made in each VM, where the packets passing in VMs are captured and subsequently analyzed for the identification of threats. Thus, the entire virtual environment is monitored, while the remaining components of EICIDS reside outside the virtual environment are thus protected from possible attacks by compromised VMs. According to the authors, the use of elastic and dynamic monitoring for IDS can allow us to accomplish some important tasks, such as checking for active VMs, virtual network traffic, detecting intrusions and malicious actions performed by a VM. However, the architecture of EICIDS is centralized IDS_admin. Now we provide in table II below the analytical study of above Cloud based HIDS.

Idress et al. have proposed an integrated and hybrid Intrusion Detection and Prevention System (IDPS) solution comprising hybrid Network Intrusion Detection and Prevention System (NIDPS), hybrid Host Intrusion Detection and Prevention Systems (HIDPS) and a centralized Intrusion Detection Prevention Operations Centre (IDPOC). Design of NIDPS and HIDPS are similar except the Multi-threading approach introduced in NIDPS to efficiently process the large throughput and high speed network traffic. The detection engines of NIDPS and HIDPS are customized according to the specific threat domains of network and hosts. Each IDPS is integrated with SNORT based misuse detection engine and Bayesian classifier, Decision tree and Naïve Bayes techniques based anomaly detection engine. Operations of individual IDPS are closely monitored, organized and upgraded with the help of a supervisor unit, which also communicates with the IDPOC for overall joint operations. This system is designed to detect known and unknown attacks in cloud, VoIP and standard networks as well as Next Generation Networks

(NGN) with customized databases for each scenario. However, it is a theoretical model. Now, we provide in table II below the analytical study of above Cloud based HIDS.

IV. CONCLUSION

Cloud computing is a very promising technology that helps to easy access to system anytime and anywhere through Internet. Apart from these advantages it has some disadvantages on security concerns. In this paper, we have introduced the vulnerabilities and security issues of Virtual Network in cloud computing. We present an analysis of some cloud security frameworks. We focus on the hybrid intrusion detection systems (HIDS) applied to cloud computing. All these frameworks are proposed to strengthen the security of the virtual network. One of the major challenges of these frameworks is to provide time-efficient and cost-effective countermeasures to mitigate attacks. Each framework has its own benefits and limitations. In our future work, we are planning to implement our HIDS that will combine the common benefits of the previous models and will help to improve the security of Virtual network in cloud.

REFERENCES

- [1] éditeur de gestion Ceged, "Le Cloud Computing, un défi stratégique pour le DSI." [Online]. Available: <http://www.cegid.fr/saas/le-cloud-computing-un-defi-strategique-pour-le-dsi/r1-2476.aspx>. [Accessed: 09-Feb-2016].
- [2] M. Christodorescu, R. Sailer, D. L. Schales, D. Sgandurra, and D. Zamboni, "Cloud security is not (just) virtualization security: a short paper," in Proceedings of the 2009 ACM workshop on Cloud computing security, 2009, pp. 97–102.
- [3] J. Rutkowska, "Subverting Vista™ kernel for fun and profit," Black Hat Brief., 2006.
- [4] H. Wu, Y. Ding, C. Winer, and L. Yao, "Network security for virtual machine in cloud computing," in Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT), 2010 5th International Conference on, 2010, pp. 18–21.
- [5] L. Dignan, "Virtualization: What are the security risks?," ZDNet. [Online]. Available: <http://www.zdnet.com/article/virtualization-what-are-the-security-risks/>. [Accessed: 09-Feb-2016].
- [6] T. Garfinkel and M. Rosenblum, "When Virtual Is Harder than Real: Security Challenges in Virtual Machine Based Computing Environments.," in HotOS, 2005.
- [7] D. Marshall, "Whitepaper: Virtual Machine Security Guidelines," InfoWorld, 09-Sep-2007. [Online]. Available: <http://www.infoworld.com/article/2636730/virtualization/whitepaper--virtual-machine-security-guidelines.html>. [Accessed: 09-Feb-2016].
- [8] R. Maqsood, N. Shahabuddin, and D. Upadhyay, "A Scheme for Detecting Intrusions and Minimising Data Loss in Virtual Networks," 2014, pp. 738–743.
- [9] M. Ali, S. U. Khan, and A. V. Vasilakos, "Security in cloud computing: Opportunities and challenges," *Inf. Sci.*, vol. 305, pp. 357–383, Jun. 2015.
- [10] K. Hashizume, D. G. Rosado, E. Fernández-Medina, and E. B. Fernandez, "An analysis of security issues for cloud computing," *J. Internet Serv. Appl.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–13, 2013.
- [11] "Owasp top 10 2013." [Online]. Available: http://fr.slideshare.net/Bee_Ware/owasp-top-10-2013-23194723. [Accessed: 09-Feb-2016].
- [12] I. Studnia, E. Alata, Y. Deswarte, M. Kaâniche, and V. Nicomette, "Survey of security problems in cloud computing virtual machines," in Computer and Electronics Security Applications Rendez-vous (C&ESAR 2012). Cloud and security: threat or opportunity, 2012, p. p–61.
- [13] A. M. Lonea, D. E. Popescu, and H. Tianfield, "Detecting DDoS attacks in cloud computing environment," *Int. J. Comput. Commun. Control*, vol. 8, no. 1, pp. 70–78, 2013.
- [14] W. A. Jansen, "Cloud hooks: Security and privacy issues in cloud computing," in System Sciences (HICSS), 2011 44th Hawaii International Conference on, 2011, pp. 1–10.
- [15] H. Cynthia, "Xen Hypervisor Goes Standard," 30-Nov-2006. [Online]. Available: <http://www.serverwatch.com/tutorials/article.php/3646516/XenHypervisor-Goes-Standard.htm>. [Accessed: 09-Feb-2016].
- [16] H. Wu, Y. Ding, C. Winer, and L. Yao, "Network security for virtual machine in cloud computing," in Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT), 2010 5th International Conference on, 2010, pp. 18–21.
- [17] B. Glenn and M. Rich, "Security Guidance: Cloud Security Alliance." [Online]. Available: <https://cloudsecurityalliance.org/group/security-guidance/>. [Accessed: 09-Feb-2016].
- [18] M. MAHJOUB, "Intégration d'un dispositif d'apprentissage et de classification dans un système d'évaluation de la sécurité informatique en environnement de Cloud Computing." Équipe VORTEX, IRIT UMR 5505.
- [19] N. M. Chirag and P. Dhiren, "a novel hybride-network intrusion detection system (H-NIDS) in cloud computing." .
- [20] K. Vieira, A. Schuler, C. Westphall, and C. Westphall, "Intrusion detection for grid and cloud computing," *IT Prof. Mag.*, vol. 12, no. 4, p. 38, 2010.
- [21] U. Tupakula, V. Varadharajan, N. Akku, and (Prénom), "Intrusion Detection Techniques for Infrastructure as a Service Cloud," 2011, pp. 744–751.
- [22] H. A. Kholidy and F. Baiardi, "CIDS: A Framework for Intrusion Detection in Cloud Systems," 2012, pp. 379–385.
- [23] M. P. K. Shelke, M. S. Sontakke, and A. D. Gawande, "Intrusion detection system for cloud computing," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 67–71, 2012.
- [24] C. N.Modi, D. R.Patel, A. Patel, and R. Muttukrishnan, "Bayesian Classifier and Snort based Network Intrusion Detection System in Cloud Computing," 2012.
- [25] S. N. Dhage, B. B. Meshram, and R. Rawat, "Intrusion Detection System in Cloud Computing Environment," presented at the International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET 2011) – TCET, Mumbai, India.
- [26] J. D. Araújo, D. de Andrade Rodrigues, L. S. de Melo, and Z. Abdelouahab, "EICIDS-elastic and internal cloud-based detection system," *Int. J. Commun. Netw. Inf. Secur.*, vol. 7, no. 1, p. 34, 2015.
- [27] F. Idress, R. Muttukrishnan, and M. A.Y, "Framework for Distributed and Self-healing Hybrid Intrusion Detection and Prevention System," presented at the International Conference on ICT Convergence (ICTC), 2013.
- [28]

A Password-Encrypted Key Exchange Protocol Using NTRU

Taoufik Serraj*, Moulay Chrif Ismaili* and Abdelmalek Azizi*

*Mohammed First University,

Department of Mathematics and Computer Science,

Oujda 60000, Morocco.

taoufik.serraj@gmail.com

Abstract—Despite the current security of the cryptographic protocols based on RSA or ECC, these systems will be vulnerable to the quantum attacks in the future due to Shor’s algorithm. In this paper, we propose a Password-Encrypted Key Exchange (PEKE) Protocol using NTRU, the proposal enables two parties who share a password to generate secure session keys which will be used to secure subsequent communications using symmetric cryptosystems. This construction is efficient and quantum-safe variant of RSA and ECC cryptosystems ensuring forward secrecy.

Index Terms—Authentication, Key exchange, Lattice, NTRU, Password, Security.

I. INTRODUCTION

Over the past two decades, information and communications technology had changed our everyday life in many areas. Several online services are provided, such as: e-Government, e-Commerce, e-Banking, e-Health, e-Learning. . .

To protect the sensitive data exchanged over public networks, many cryptographic techniques are used. Nowadays, the most dominant cryptosystems are based on the factorization problem (e.g., RSA) or on the discrete logarithm problem in some finite groups (e.g., ECC). However, despite the current security of cryptographic protocols based on RSA [12] or ECC [6], [10], these systems will be vulnerable to the quantum attacks in the future due to Shor’s algorithm [13].

NTRU was proposed by Hoffstein, Pipher and Silverman in 1996, and published in 1998 [3]. NTRU has recently been standardized through IEEE P1363.1 [11] and X9.98 [9]. In fact, the use of NTRU presents an alternative to RSA and Elliptic Curve Cryptography (ECC) to prevent quantum attacks. In addition, this choice provides more advantages compared to RSA or ECC, it is secure, efficient, and can be implemented in any environment.

In this paper, we propose a Password-Encrypted Key Exchange Protocol Using NTRU (NTRU-PEKE). The proposed protocol enables two communicating parties who share a simple password pw to generate a secret and authenticated session key which will be used to secure subsequent communication through Advanced Encryption Standard (AES).

The paper is organized as follows: Section 2 gives a brief mathematical description of NTRU. In Section 3, we describe the proposed scheme. Section 4 discusses the security of NTRU-PKEP. We conclude the paper in Section 5.

II. PRELIMINARIES

In this section, we give a brief description of the basic mathematical concepts used by NTRU Encryption/Decryption system.

A. Mathematical background

Definition 1:

Let N and q be positive integers, the ring of convolution polynomials is the quotient ring $R = \frac{\mathbb{Z}[x]}{(X^N-1)}$. Similarly, the ring of convolution polynomials (*modulo* q) is the quotient ring $R_q = \frac{\mathbb{Z}_q[x]}{(X^N-1)}$.

Proposition 1:

Let $f(x)$ and $g(x)$ be two elements of R or R_q , the polynomials are represented by:

$$f(x) = (f_0, f_1, \dots, f_{N-1}) = \sum_{i=0}^{N-1} f_i x^i,$$

$$g(x) = (g_0, g_1, \dots, g_{N-1}) = \sum_{i=0}^{N-1} g_i x^i,$$

with the coefficients in \mathbb{Z} or \mathbb{Z}_q , respectively.

The addition of two polynomials is defined by:

$$f(x) + g(x) = \sum_{i=0}^{N-1} (f_i + g_i) x^i,$$

while multiplication, denoted “*” is defined as convolution multiplication by:

$$h(x) = f(x) * g(x) \text{ with } h_k = \sum_{i+j \equiv k \pmod{N}} f_i g_{k-i},$$

Proposition 2: Let q be a prime, then $f(x) \in R_q$ has a multiplicative inverse if and only if

$$\gcd(f(x), x^N - 1) = 1 \text{ in } \mathbb{Z}_q[x].$$

Definition 2: Let $f(x) \in R$, for any positive integers d_1 and d_2 , we let

$$T(d_1, d_2) = \left\{ \begin{array}{l} f(x) \text{ has } d_1 \text{ coefficients equal to } 1, \\ f(x) : \begin{array}{l} f(x) \text{ has } d_2 \text{ coefficients equal to } -1, \\ f(x) \text{ has all other coefficients equal to } 0. \end{array} \end{array} \right\}$$

Polynomials in $T(d_1, d_2)$ are called ternary polynomials.

B. The NTRUEncrypt/Decrypt scheme

NTRU parameters are the following positive integers N, p, q and d , where N and p are primes, $q > (6d + 1)p$ and $\gcd(N, q) = \gcd(p, q) = 1$.

1) *Key Pair generation phase*: To create an NTRU key, Alice chooses public parameters (N, p, q, d) satisfying the security requirements described in [2]. Alice chooses randomly two polynomials

$$f(x) \in T(d+1, d) \text{ and } g(x) \in T(d, d), \quad (1)$$

Alice computes the inverses

$$F_q(x) = f^{-1}(x) \text{ in } R_q \text{ and } F_p(x) = f^{-1}(x) \text{ in } R_p, \quad (2)$$

Alice next computes

$$h(x) = F_q(x) * g(x) \text{ in } R_q. \quad (3)$$

The polynomial $h(x)$ is Alice's public key. Her private key is $f(x)$.

2) *Encryption phase*: Bob's plaintext is a polynomial $m(x) \in R$ whose coefficients satisfy $-\frac{1}{2}p < m_i \leq \frac{1}{2}p$.

Bob chooses a random polynomial $r(x) \in T(d, d)$ and computes

$$c(x) \equiv ph(x) * r(x) + m(x) \pmod{q} \quad (4)$$

Bob's ciphertext is the polynomial $c(x)$.

3) *Decryption phase*: To decrypt the encrypted message $c(x)$ using the private key $f(x)$, Alice computes

$$a(x) \equiv f(x) * c(x) \pmod{q} \quad (5)$$

The message $m(x)$ is then obtained from $a(x)$ by reducing the coefficients of $F_p(x) * a(x)$ modulo p , and this is done as follows:

$$\begin{aligned} a(x) &\equiv f(x) * c(x) \pmod{q} \\ &\equiv f(x) * (ph(x) * r(x) + m(x)) \pmod{q} \\ &\equiv pf(x) * F_q(x) * g(x) * r(x) + f(x) * m(x) \pmod{q} \\ &\equiv pg(x) * r(x) + f(x) * m(x) \pmod{q} \end{aligned}$$

Now, Alice multiplies $F_p(x)$ by $a(x)$, and reduces the result modulo p ,

$$\begin{aligned} b(x) &\equiv F_p(x) * a(x) \pmod{p} \\ &\equiv F_p(x) * (pg(x) * r(x) + f(x) * m(x)) \pmod{p} \\ &\equiv F_p(x) * f(x) * m(x) \pmod{p} \\ &\equiv m(x) \pmod{p} \end{aligned}$$

We note that the condition $q > (6d + 1)p$ is necessary for the decryption process.

III. THE NTRU-PEKE PROTOCOL

A. The protocol parameters

We denote a client by C and a server by S , both C and S share a common password pw , they also agree on the following parameters and cryptographic primitives:

- (N, p, q, d) the NTRU public parameters chosen by a trusted party,
- the client's public key pk_C (sk_C its private key),
- the server's public key pk_S (sk_S its private key),

TABLE I
NTRU-SPEKE PROTOCOL

Client	Server
(pk_C, sk_C)	(pk_S, sk_S)
$x \leftarrow_R \mathbb{Z}_n^*$	$y \leftarrow_R \mathbb{Z}_n^*$
$X = pw^x$	$Y = pw^y$
$\mathcal{X} = \text{NTRUEnc}(X, pk_S)$	$\mathcal{Y} = \text{NTRUEnc}(Y, pk_C)$
	\mathcal{X}
	\longrightarrow
	\mathcal{Y}
	\longleftarrow
$Y = \text{NTRUDec}(\mathcal{Y}, sk_C)$	$X = \text{NTRUDec}(\mathcal{X}, sk_S)$
$k_C = Y^x$	$k_S = X^y$
	$k_C = k_S = pw^{xy}$
$S_k = H(C, S, \mathcal{X}, \mathcal{Y}, k_C)$	$S_k = H(C, S, \mathcal{X}, \mathcal{Y}, k_S)$
	$S_k = k_{enc} k_{mac}$
$u = \text{MAC}(k_{mac}, \mathcal{Y})$	$v = \text{MAC}(k_{mac}, \mathcal{X})$
	u
	\longrightarrow
	v
	\longleftarrow
Abort if v invalid	Abort if u invalid

- the NTRU encryption (NTRUEnc) and decryption (NTRUDec) functions,
- a positive integer n to define the multiplicative group \mathbb{Z}_n^* ,
- a Random Number Generator,
- a secure hash function H ,
- a message authentication code MAC.

B. The protocol description

The NTRU-PEKE protocol is depicted in table (I), it can be performed as follows:

- 1) The client (resp. The server) randomly chooses x (resp. y) in \mathbb{Z}_n^* , for a chosen positive integer n .
- 2) The client (resp. The server) computes $X = pw^x$ (resp. $Y = pw^y$), encrypts it through NTRUEnc using the server's public key pk_S (resp. the client's public key pk_C) and sends the encrypted value \mathcal{X} (resp. \mathcal{Y}) to the server (resp. the client).
- 3) On receiving \mathcal{Y} (resp. \mathcal{X}), the client (resp. the server) recovers Y (resp. X) by decrypting under its private key sk_C (resp. sk_S), they both compute $Y^x = X^y = pw^{xy}$.
- 4) The client and the server individually derive the session key material through the hash function H using their identities C and S concatenated with the values of \mathcal{X} , \mathcal{Y} and pw^{xy} , let $S_k = H(C, S, \mathcal{X}, \mathcal{Y}, pw^{xy}) = k_{enc} || k_{mac}$ be the session key generated between C and S .
- 5) The client (resp. the server) computes $u = \text{MAC}(k_{mac}, \mathcal{Y})$ (resp. $v = \text{MAC}(k_{mac}, \mathcal{X})$)

and sends u (resp. v) to the server (resp. the client). Each party checks the others MAC and reports a failure in case of a mismatch.

- 6) Both parties now explicitly confirm knowledge of the session key S_k .

IV. SECURITY AND EFFICIENCY ANALYSIS

In this section, we discuss some security and efficiency issues, according to the works of Stehlé et al. [14], Hoffstein et al. [2] and the recent NIST technical report on post-quantum cryptosystems [8].

A. Security

The security of NTRUEnc is mainly based on the presumed hardness of the "Short Vector Problem" (CVP) in some lattices. In [14], Stehlé and Steinfeld proposed a modified version of NTRUEnc to make it provably secure in the standard model by assuming the quantum intractability of standard worst-case lattice problem in very special lattices.

Recently, Hoffstein et al. [2] reviewed attacks on NTRUEnc and discussed how such attacks can be prevented by a good choice of security parameters. In this scope and in the aim of avoiding the following attacks, it suffices that:

- 1) *Hidden Collisions Attack [15]*: The parameters generation algorithm must be published and certified by a certification authority, to ensure that no "backdoors" exist in the NTRU parameters.

- 2) *Coppersmith-Shamir & Lattice Reduction Attacks*: The Coppersmith and Shamir attack [1], is based on the construction of a lattice L from the parameters N, q, d combined with reduction algorithms [7] to find the private key. These attacks can be avoided by choosing a prime number N of sufficiently bigger size ($N = 613$).

- 3) *Howgrave-Graham Attack [4]*: The polynomials used in the cryptosystems as keys and messages should be ternary polynomials. In addition, the probability p_s that a correct guess in the meet-in-the-middle stage must be determined mathematically in order to choose parameters so that the expected work to recover both the private key $f(x)$ from the public key $h(x)$ and the plaintext $m(x)$ from the ciphertext $c(x)$ is at least 2^k (for a security level $k = 128$).

- 4) *Decryption Failures Attack [5]*: The probability of decryption failures must be at most 2^{-k} for a security level $k = 128$ (i.e., $q > (6d + 1)p$).

The parameters specified in [2] meet all the security requirements to secure the NTRUEnc function.

On the other hand, the proposed protocol must satisfy the following additional security properties:

- 5) *Replay Attack*: An attacker can intercept \mathcal{X} and \mathcal{Y} , but he cannot compute X or Y . Generally, he cannot deduce k_{mac} . Therefore, he fails to compute a correct message authentication code. Consequently, the proposed protocol can resist the impersonation and the replay attacks.

- 6) *Secure Mutual Authentication*: Under the assumption that the message authentication code MAC is unforgeable against adaptively chosen message attacks, each entity confirms the knowledge of the session key and it is sure that it shares the correct session key with the right partner.

- 7) *Perfect Forward Secrecy*: In each protocol execution, the client and the server use random numbers x and y . Additionally, a random polynomial $r(x)$ is used in the NTRUEnc function. Consequently, if the private keys of one or both parties are compromised, the secrecy of previous session keys is not affected.

- 8) *Forward Quantum-Resistance*: Data exchanged in public networks today are encrypted by RSA/ECC, it can be stolen and stored until quantum computers will be available. Attackers, will be able to recover all previous messages. Since NTRU is secure against quantum attacks, the encrypted information using NTRU will remain secure in the future.

B. Efficiency

In real-world applications, cryptographic protocols should provide an optimal trade-off Security/Efficiency. According to IEEE 1363.1 [11], X9.98 [9] and NIST [8] standards, the NTRU based cryptosystems appear to be more practical and use small keys, making it ideal for all environments, especially well suited for embedded and mobile devices where code size is a very major limitation. Consequently, to ensure the actually required security level $k = 128$, we choose our protocol parameters as follows:

- 1) $N = 613$,
- 2) $q = 2048$,
- 3) $p = 3$,
- 4) $d = 55$,
- 5) RNG is a (pseudo-)random number generator of class DRG.3,
- 6) H is the SHA-224 hash function,
- 7) MAC is a Message Authentication Code.

Concerning implementations, NTRU algorithms are available under Open Source GNU GPL v2 license.

V. CONCLUSION

We have proposed a password-encrypted key exchange protocol using NTRU. The proposal enables two parties to generate strong session keys which will be used to secure subsequent communications through AES-128 (or 256). Additionally, it ensures many interesting security features such as confidentiality of session keys, perfect forward secrecy and mutual authentication. Finally, the use of NTRU systems combined with AES provides an efficient and a quantum-resistant alternative for RSA or ECC against quantum computers in the near future.

REFERENCES

- [1] D. Coppersmith and A. Shamir, "Lattice attacks on ntru," in *Advances in Cryptology—EUROCRYPT97*. Springer, 1997, pp. 52–61.
- [2] J. Hoffstein, J. Pipher, J. M. Schanck, J. H. Silverman, W. Whyte, and Z. Zhang, "Choosing parameters for ntruencrypt," Cryptology ePrint Archive, Report 2015/708, Tech. Rep., 2015.

- [3] J. Hoffstein, J. Pipher, and J. H. Silverman, "Ntru: A ring-based public key cryptosystem," in *Algorithmic number theory*. Springer, 1998, pp. 267–288.
- [4] N. Howgrave-Graham, "A hybrid lattice-reduction and meet-in-the-middle attack against ntru," in *Advances in Cryptology-CRYPTO 2007*. Springer, 2007, pp. 150–169.
- [5] N. Howgrave-Graham, P. Q. Nguyen, D. Pointcheval, J. Proos, J. H. Silverman, A. Singer, and W. Whyte, "The impact of decryption failures on the security of ntru encryption," in *Advances in Cryptology-CRYPTO 2003*. Springer, 2003, pp. 226–246.
- [6] N. Koblitz, "Elliptic curve cryptosystems," *Mathematics of computation*, vol. 48, no. 177, pp. 203–209, 1987.
- [7] A. K. Lenstra, H. W. Lenstra, and L. Lovász, "Factoring polynomials with rational coefficients," *Mathematische Annalen*, vol. 261, no. 4, pp. 515–534, 1982.
- [8] C. Lily, L. Yi-Kai, J. Stephen, M. Dustin, P. Rene, P. Ray, and S.-T. Daniel, "Report on post-quantum cryptography," National Institute of Standards and Technology, Tech. Rep. NISTIR-8105, 2016.
- [9] ANSI X9.98, "Lattice-based polynomial public key establishment algorithm for the financial services industry." American National Standards Institute, Tech. Rep., 2010.
- [10] V. S. Miller, "Use of elliptic curves in cryptography," in *Advances in Cryptology-CRYPTO85 Proceedings*. Springer, 1985, pp. 417–426.
- [11] W. G. of the C/MM Committee *et al.*, "IEEE p1363. 1 standard specification for public-key cryptographic techniques based on hard problems over lattices, 2009."
- [12] R. L. Rivest, A. Shamir, and L. Adleman, "A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems," *Communications of the ACM*, vol. 21, no. 2, pp. 120–126, 1978.
- [13] P. Shor, "Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer, special issue on quantum computation of the siam journal on computing 26 (5)(1997) 1484–1509," *MATH MathSciNet*, 1997.
- [14] D. Stehlé and R. Steinfeld, "Making ntru as secure as worst-case problems over ideal lattices," in *Advances in Cryptology-EUROCRYPT 2011*. Springer, 2011, pp. 27–47.
- [15] S. Vaudenay, "Hidden collisions on dss," in *Advances in Cryptology-CRYPTO96*. Springer, 1996, pp. 83–88.

Session 3

Energétique et Matériaux

Thermodynamic assessment of the Yttrium-Gold binary system

AD. Moustaine*, K. Mahdouk, S. Otmani, Z. Rahou, R. Tamim

Laboratory of Thermodynamics and Energetics (L.T.E)

Faculty of Science Ibn Zohr University

Agadir, Morocco

mostainedris@gmail.com

Abstract—The phase diagram and thermodynamic properties of the Y–Au system have been thermodynamically assessed by means of the CALPHAD (Calculation of Phase Diagrams) method through Thermo–Calc software package on the basis of the experimental data of phase equilibria and thermodynamic properties from the published literature data. The excess Gibbs energies functions of the solid body-centered cubic bcc_A2, liquid phases including liquid, face-centered cubic fcc_A1, hexagonal close-packed hcp_3 and body-centered cubic bcc_A2 modeled with Redlich–Kister polynomials functions. All intermetallic compounds were treated as stoichiometric compounds. The thermodynamic parameters describing various phases in the Y–Au binary system were finally obtained, and an agreement is achieved between the calculated results and the reported experimental data.

Keywords—Phase diagram; Thermodynamic assessment; CALPHAD method; thermodynamic modeling.

I. INTRODUCTION

Due to importance of performance and reliability of Schottky barrier diodes (SBDs) Group 1–1 compound semiconductors play an importance role in the field of high-speed electronic device, micro- and optoelectronic devices. Indium phosphide (InP) is a potential application material in the field of long-wavelength laser, detector and the advanced microelectronics for military and satellite communication because of its good temperature stability, good heat dissipation and high frequency response [1–4] in recent years. The application include solar cells, schottky barrier diodes (SBDs), laser diodes, photo-detectors, high electron mobility transistors (HEMTs), high-speed metal-insulators-semiconductor field-effect transistors (MISFETs), microwave sources and amplifiers operating at high power and frequency with low noise [5–8]. In order to improve device performance and reliability, it is important to investigate the electrical properties of the metal/ semiconductor interface [9–10]. Indeed, some of the researchers have extensively investigated the electrical properties of schottky contacts with different metal schemes on p-In [11–19]. Asubay et al. [12] studied the electrical properties of Au/p-InP/Zn–Au SBDS by current-voltage (I–V) method. Varenne et al. [13] fabricated the Pd and Au pseudo-Schottky contacts on p-InP as a function of

metal species and thickness, and investigated their electrical properties by I–V measurements Korucu et al. [16] investigated the electrical properties of the Au/p-InP. More recently, Dasaradha et al. [20] their work is to fabricate and characterize the gold (Au)/yttrium (Y) schottky contacts on p-InP SBDS at different annealing temperature. Gold–Silver alloy with Good electrical conductivity, thermal conductivity and corrosion resistance, a wide range of applications, often used as light load require high reliability electrical contact materials and semiconductors components, sensors conductive connector material. In addition, Yttrium–Gold–silver–Zirconium–Based alloy Material can be used as electrical contact material and conductive connecting wire materials.

An important step in investigating alloy systems is the definition of their phase diagrams. Knowledge of phase equilibria (phase stability and phase transformations) are important reference points in the description and understanding both of the fundamental properties of the alloys and their possible technological applications. Hence, the purpose of the present work is to assess the Y–Au binary system for which the experimental phase diagram was reexamined by Saccone et al. [21] and to develop a precise thermodynamic description by means of the calculation of phase diagram CALPHAD technique described and presented by [22, 23] and successfully applied in various computer programs in order to give a more complete and consistent description of the phases existing in the studied system and their stability. The thermodynamic optimization of the Y–Au system is part of a research program, carried out in our laboratory, and it focuses on the study of the interaction between rare earth elements and the noble metals.

II. REVIEW OF EXPERIMENTAL DATA

The Y–Au binary phase diagram has already been investigated by some authors. Gschneidner et al. [24] studied the Y–Au system and reported there congruently melting compounds: YAu, YAu₂ and YAu₃. They determined YAu has the cubic CsCl-type structure; YAu₂ the tetragonal MoSi₂-type Structure; YAu₃ the orthorhombic Cu₃Ti-type structure. Two other phases, namely Y₂Au₇ and YAu₆ have been reported in the literature; for these the stoichiometries

were not verified, nor were structure type determined. Considering the similar alloying behavior of Y and Dy, Y_2Au_7 is likely to have the $Ag_{51}Gd_{14}$ -type structure and YAu_6 to have Au_6Ho -type structure. Sadagopan et al. [25] and Iandelli and Palenzona [26] reported some crystal data of the intermediate phases in the Y–Au binary system, respectively. By using differential thermal analysis (DTA), X–ray powder diffraction (XRD), optical (LOM) and electron microscopy (SEM), electron probe microanalysis (EPMA), Saccone et al. [21] investigated the Y–Au system and obtained a more complete Y–Au binary phase diagram with seven intermetallic compounds: Y_2Au , YAu , Y_3Au_4 , YAu_2 , YAu_3 , $Y_{14}Au_{51}$ and YAu_6 . No allotropic phase transition in these intermetallic compounds was reported. Saccone et al. [21] measured the invariants reactions temperatures and compositions of equilibrium phases. The crystal structures of the various phases of the Y–Au system are shown in Table 1 Fitzner et al. [27] measured the standard enthalpy of formation of the equiatomic YAu phase by direct high–temperature reaction calorimetry at 1473 K and also determined the enthalpies of mixing the liquid phase at the same temperature. Later, Meschel and Kleppa [28] using same technique measured the standard enthalpies of formation of the YAu_2 and YAu_3 intermetallic phases at 1373 K. In the Table 2, we give the experimental standard enthalpies of formation [27, 28] with the calculated ones in the current work.

III. THERMODYNAMIC MODELS

A. Pure elements

The Gibbs energy function

$G_i^\Phi(T) = {}^0G_i^\Phi - H_i^{SER}(298.15K)$ for the element i ($i = Y, Au$) in the phase Φ ($\Phi = \text{Liquid}, \text{fcc_A1}, \text{hcp_A3}, \text{bcc_A2}$) is described by an equation of the following form:

$$G_i^\Phi(T) = a + bT + cT + dT^2 + eT^3 + fT^7 + gT^{-1} + hT^{-9} \quad (1)$$

Where $H_i^{SER}(298.15K)$ is the molar enthalpy of the element i at 298.15 K in its standard element reference (SER) state, hcp_A3 for Y and fcc_A1 for Au.

In this work, The Gibbs energy functions are taken from the Scientific Group Thermo data Europe (SGTE) compiled by Dinsdale [29].

B. Solution phases

The solution phases (fcc_A1), (hcp_A3), (bcc_A2), and liquid were modelled as substitutional solutions. The Gibbs energy of one mol of formula unit of phase Φ is expressed as the sum of the reference part ${}^{\text{ref}}G^\Phi$, the ideal part ${}^{\text{id}}G^\Phi$, and the excess part ${}^{\text{exc}}G^\Phi$:

$$G_m^\Phi = {}^{\text{ref}}G^\Phi + {}^{\text{id}}G^\Phi + {}^{\text{exc}}G^\Phi \quad (2)$$

$${}^{\text{ref}}G^\Phi(T) = \left({}^0G_Y^\Phi(T) - H_{\Phi}^{\text{hcp_A3}}(298.15K) \right) x_Y + \left({}^0G_{Au}^\Phi(T) - H_{Au}^{\text{fcc_A1}}(298.15K) \right) x_{Au} \quad (3)$$

$${}^{\text{id}}G^\Phi = RT(x_Y \ln x_Y + x_{Au} \ln x_{Au}) \quad (4)$$

The excess terms ${}^{\text{exc}}G^\Phi$ of all the solution phases were modelled by the Redlich–Kister [30] formula:

$${}^{\text{exc}}G^\Phi(T) = x_Y x_{Au} \left[\sum_{i=0}^n {}^iL_{Y,Au}^\Phi(T) (x_Y - x_{Au})^i \right] \quad (5)$$

where x_Y and x_{Au} are the mole fraction of elements Y and Au respectively; T is the temperature in Kelvin, R is the gas constant, while ${}^iL_{Y,Au}^\Phi(T)$ is the interaction parameter between the elements Sm and Au, to be evaluated in the present work. Its general form is:

$${}^iL_{Y,Au}^\Phi(T) = a_i + b_i T + c_i T \ln T + d_i T^2 + e_i T^3 + f_i T^{-1} \quad (6)$$

Because of the lack of experimental measurements relative to the C_p values of the Y–Au phases, we have restricted the ${}^iL_{Y,Au}^\Phi(T)$ temperature dependence expression (Eq. 6) to its two first terms i.e.:

$${}^iL_{Y,Au}^\Phi(T) = a_i + b_i T \quad (7)$$

where a_i and b_i are the coefficients to be optimized using the PARROT module [31] of the Thermo–calc software.

C. Stoichiometric compounds

The Gibbs energy of the stoichiometric compounds Y_pAu_q is expressed as follows:

$${}^0G_{Y_pAu_q} = \frac{p}{p+q} {}^0G_Y + \frac{q}{p+q} {}^0G_{Au} + a + bT \quad (8)$$

where 0G_Y and ${}^0G_{Au}$ are the Gibbs energy of the pure Y and Au elements respectively. The coefficient a and b which represent respectively the enthalpy and entropies of formation of the Y_pAu_q compound were evaluated in the present work based on the literature data.

IV. procedure assessment

The optimization of the thermodynamic parameters was carried out by using Parrot module of the thermo-calc software developed by Jansson [31] and Sundman et al. [32]. Its procedure consists of the choice of thermodynamic models for the Gibbs energy of the individual phases as previously described, the analysis of the all related experimental data available, and the computer-aided nonlinear for minimizing the square sum of the errors between the experimental data and the computed values. In the beginning of the assessment each piece of selected information was given a certain weight. The weights were changed systematically during the assessment, until most of the selected experimental data was accounted for within the claimed uncertainty limits.

In order to avoid the occurrence of an unwanted inverted miscibility gap in the liquid phase during the Y–Au phase diagram calculation, a positive curvature of the liquidus was added by imposing the additional constraint $d^2G/dx^2 \geq 0$ in the whole atomic composition range [33–34] until 4000K. The optimization was carried out by steps. The thermodynamic parameters for the liquid phase were optimized using the integral enthalpies of mixing the liquid [27]. The second step was based on the available experimental standard enthalpies of formation for some Y–Au intermetallic compounds [27, 28] and the phase boundaries information. Then, the experimental data related the invariant reactions [21] were added to the calculation. All the parameters were finally evaluated together to give the best thermodynamic description of the Y–Au binary system.

V. Results and discussion

The thermodynamic description of the Y–Au system was carried in the present work By means of the PARROT module in the Thermo–Calc software [35] taking into account all the relevant experimental results published by. Saccone et al. [21]. And the thermodynamic proprieties available in the literature for the Y–Au system. In Table 4 we give the invariant equilibria of the Y–Au system with their respective compositions and temperatures. Satisfactory agreement is

obtained between the calculated results and the experimental data reported by [21]. In Fig. 1 we compare our calculated phase diagram with the experimental data established by Saccone et al. [21] We note a good agreement between the calculated and experimental [21] Fig. 2 presents the calculated values of mixing the liquid at 1473 K in the Y–Au With the experimental data measured by Fitzner et al. [27]. A good agreement was observed.

Phase	Composition , at.% Au	Pearson Symbol	Space group	Symbol used in thermo- calc data file	Prototype	Ref.
Au	98	cF4	$m\bar{3}m$	FCC_ A1	Cu	[37]
α Y	1<	hP12	$P6_3/mmc$	HCP_ A3	Mg	[35]
β Y	2	cI2	$\bar{1}m\bar{3}m$	BBC_ A2	W	[35]
Y ₂ Au	33.3	oP12	Pmna	Y ₂ Au	Co ₂ Si	[21]
YAu	50	cP2	$Pm\bar{3}m$	YAu	CsCl	[36]
Y ₃ Au ₄	57.1	hR42		Y ₃ Au ₄	Pu ₃ Pd ₄	[21]
YAu ₂	66.7	tI6	I4 / mmm	ScAu ₂	MoSi ₂	[21, 25,26]
YAu ₃	75	op8	Pmna	YAu ₃	TiCu ₃	[21, 25]
Y ₁₄ Au ₅₁	78.5	hP65	$P6/m$	Y ₁₄ Au ₅₁	Gd ₁₄ Ag ₅₁	[21]
YAu ₆	85.7	tP6	-	YAu ₆	HoAu ₆	[21]

compositions and temperatures of phase boundaries and invariant reactions.

A. Figures and Tables

Table1: The crystal structures of the various phases in the Y–Au system

Table2: Comparison between the experimental and the calculated data relative to the Y–Au invariant reactions.

Figure 1 Comparison of the Y–Au calculated phase diagram with the experimental data from [21].

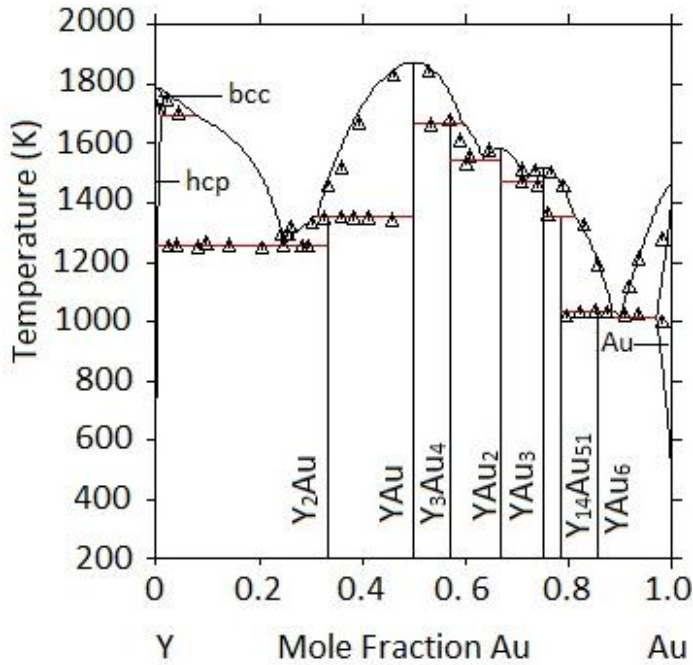
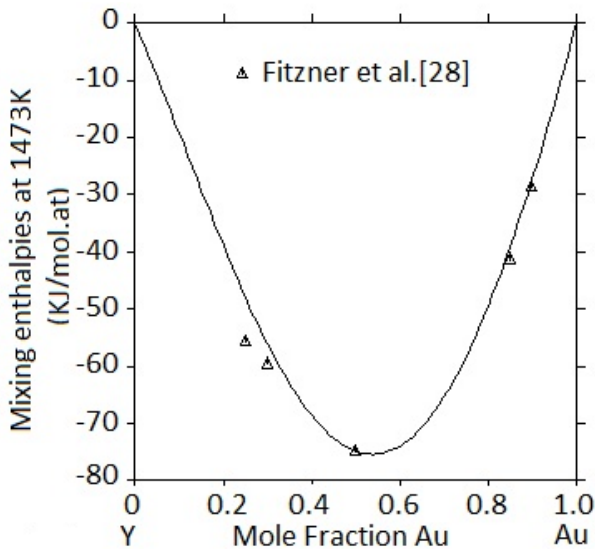


Figure 2: Calculated enthalpies of mixing of the liquid phase compared with the measured values at 1473 K by Fitzner et al. [28].



References

[1] Yang Xuyong, Dewei Zhao, Kheng Swee Leck, Swee Tiam Tan, Yu Xin Tang, Junliang Zhao, Hilmi Volkan Demir, Xiao Wei Sun, *Advanced Materials* 24 (30) (2012) 4180–4185

Reaction	Compositions from current work (at.%Au)			T / K	Compositions from literature data (at. % Au)			T / K	Ref.
	1	2	3		1	2	3		
$\beta Y \leftrightarrow \alpha Y + \text{liq}$	1.6	0.71	7.9	1694	2	1	7	1694	[21]
$Y_2Au + \alpha Y \leftrightarrow \text{Liq}$	33.3	0.75	24	1256	33.3	1	22	1256	[21]
$Y_2Au \leftrightarrow \text{Liq} + YAu$	33.3	31.2	50.	1354	33.3	31	50	1354	[21]
$YAu \leftrightarrow \text{Liq}$	50			1873	50			1873	[21]
$Y_3Au_4 \leftrightarrow \text{Liq} + YAu$	57.1	59.6	50	1665	57.1	58	50	1665	[21]
$Y_3Au_4 + YAu_2 \leftrightarrow \text{Liq}$	57.1	66.7	63.5	1544	57.1	66.7	62	1544	[21]
$YAu_2 \leftrightarrow \text{Liq}$	66.7	66.7	-	1585	66.7	66.7	-	1585	[21]
$YAu_2 + YAu_3 \leftrightarrow \text{Liq}$	66.7	75	71.6	1474	66.7	75	71.6	1474	[21]
$YAu_3 \leftrightarrow \text{Liq}$	75	75	-	1517	75	75	-	1517	[21]
$Y_{14}Au_{51} \leftrightarrow \text{Liq} + YAu_3$	78.5	81.2	75	1353	78.5	80	75	1353	[21]
$YAu_6 \leftrightarrow \text{Liq} + Y_{14}Au_{51}$	85.7	88.6	78.5	1032	85.7	87	78.5	1032	[21]
$YAu_6 + Au \leftrightarrow \text{Liq}$	85.7	97	89.7	1016	85.7	98	88	1016	[21]

[2] H. Zhao, D. Shahrjerdi, F. Zhu, H.S. Kim, O.k. Injo, M. Zhang, H. Yum K. Banerjee, J.C. Lee, *Electrochem. Solid-State Lett* 2008; 11: H 233.

[3] S. Sridaran, A. Chavan, P. Duttaa, *Appl. Phys. Lett.* 89,142116. (2006)

[4] Y. Wang, X. Yang, T.C.He, Y. Gao, H.V. Demir, XW Sun, et al. *Appl. Phys. Lett.*102,021917 (2013).

[5] R.H. Williams, G.Y. Robinson. In: Wilmsen CW, editor. *Physics and chemistry ofIII–V compound semiconductor interfaces*. New York: Plenum Press; 1985.

[6] E.H. Rhoderick, R.H. Williams, *Metal–semiconductor contacts*. Oxford: ClarendonPress; 1988

[7] K. Hattori, Y. Torii, *Solid–state Electron.* 34 (1991) 527–531

[8] P. Victorovitch, P. Louis, M.P. Besland, A. Chovet, *Solid–state Electron* 38 (1995) 1035–1043

[9] A. Itoh, T. Kimoto, H. Matsunami, *IEEE Electron. Device Lett.*16 (1995) 280–282.

[10] M. Furno, F. Bonani, G. Ghione, S. Ferrero, S. Porro, P. Mandracchi, D. Perrone, G. Richieri, L. Merlin, *Mater. Sci.* 483–485 (2005) 941–944.

[11] S. Asubay, Ö. Güllü, A. Türüt, *Vacuum* 83 (2009) 1470–1474

[12] S. Asubay, Ö. Güllü, A. Türüt, *Appl. Surf. Sci.* 254 (2008) 3558–3561

[13] C. Varenne, J. Brunet, A. Pauly, B. Lauron. *Phys. B* 404 (2009) 1082–1086

[14]] V. Janardhanam, Hoon–Ki Lee, Kyu–Hwan Shim, Hyo–Bong Hong, Soo–Hyung Lee, Kwang–Soon Ahn, Chel–Jong choi, *J. Alloys Compd.* 504 (2010) 146–156

[15] S. Asubay, *J. Microelectron. Eng.* 88 (2011) 109–112.

[16] D. Korucu, S. Karatas, A. Turut, *Indian J. Phys.* 87(8) (2013) 733–740

[17] L. Dasaradha Rao, V. Rajagopal Reddy, V Janardhanam, Min– Sung, Byoung–Chul Son, Chel–Jong Choi. *Superlattices Microstruct.* 65 (2014) 206–218

[18] V Rajagopal Reddy, D. Sri Silpa, Hyung–Joong Yun, Chel–Jong Choi, *Superlattices Microstruct.*71 (2014) 134–164

[19] V. Rajagopal Reddy, D. Sri Silpa, V Janardhanam, Hyung–Joong Yun, chel–Jong Choi, *Electron. Mater.* 11(2015) 73–81

[20]] L. Dasaradha Rao, K. Shanthi Latha, V. Rajagopal Reddy, Chel–Jong Choi 119 (2015) 276–283.

[21] A. Saccone, S. Delfino, D. Maccio, R. Ferro, *J. Chim. Phys.* 94 (1997) 948–957

[22] L. Kaufman, H. Bernstein, *Computer Calculation of Phase Diagrams*, Academic Press, New York. 1970

[23] I. Ansara, *Int. Metals Rev.* 1 (1979) 20.

[24] K.A. Gschneidner Jr., F.W. Calderwood, T.B. Massalski, H. Okamoto, *PhaseDiagrams of Binary Gold Alloys*, Metals Park, Ohio, (1987) 327

- [25] Y. Sadagopan, B.C. Giessen, N.J. Grant, *J. less-Common Met.* 14 (1968) 279.
- [26] A. Iandelli, A. Palenzona, *Handbook on the physics and chemistry of rare Earths*, North-Holland Physics Publishing, Amsterdam, (1979) 1.
- [27] S.V. Meschel, O.J. Kleppa 350 (2003) 205–212
- [28] K. Fitzner, W.G. Jung, O.J. Kleppa, 1104–Vol 22 A (1991).
- [29] A.T. Dinsdale, SGTE data for pure elements. *CALPHAD*, 15 (1991) 317–425.
- [30] O. Redlich, A.T. Kister, Algebraic representation of thermodynamic properties and the Classification of solutions. *Ind. Eng. Chem.*, 40 (1948) 345–348.
- [31] B. Jansson, Royal Institute of Technology, Ph.D. thesis, 1984. Stockholm,
- [32] J. B. Sundman, B. Jansson, J.O. Andersson, *CALPHAD*. 9 (1985) 153–190.
- [33] C.H. Lupis, *Chemical Thermodynamics of Metals*. (1983).
- [34] K.H. Kumar and P. Wollants, *J. Alloys compd.* 320 (2) (2001) 189–198.
- [35] J.O. Andersson, T. Helander, L. Höglund, P. Shi, B. Sundman, *CALPHAD*, 26 (2) (2002) 273–312.

Contribution to performance optimization of a wind variable speed based on DFIG system

Mohammed Taoussi ⁽¹⁾, Mohammed Karim ⁽¹⁾, Badre Bossoufi ^(1,2), Dalila Hammoumi ⁽¹⁾,
Ahmed Lagrioui ⁽³⁾, Aziz Derouich ⁽⁴⁾, Najib Elounjli ⁽⁴⁾

¹Laboratory of Systems Integration and Advanced Technologies (LISTA), Faculty of Sciences Dhar El Mahraz,
University Sidi Mohammed Ben Abdellah Fes - Morocco

m.taoussi0@gmail.com

²Laboratory of Electrical Engineering and Maintenance (LGEM) ESTO School of Technology,
University Mohammed I Oujda - Morocco

³Department of Electrical Engineering and Computer Engineering, National School of Arts and Trades, University Moulay Ismail
Meknes – Morocco

⁴Laboratory Production Engineering, Energy and Sustainable Development (PE2D), College of Technology,
University Sidi Mohammed Ben Abdellah Fez - Morocco,

Abstract— In this work, we are interested in the modeling and control of power converters directly connected to the stator and the rotor of a Doubly Fed Induction Generator (DFIG) to improve the performance of a variable speed wind turbine.

In the aim to assess the performance and dynamics of the wind system, for the different variable speeds of the wind, we are interested in the development of the modeling the wind system. Therefore, the aim is the study and implementation of the orientation control of the flow rotor to DFIG. Finally, the control simulation results are simulated on the environment Matlab / Simulink. A very detailed analysis of simulation results of wind conversion chain system is performed with the objective to evaluate and optimize the performance of the proposed system.

Keywords--Wind Turbine; DFIG; modeling; vector control; Orientation of the flow rotorique; Matlab / Simulink.

I. INTRODUCTION

Today the renewable energy has experienced very strong growth over the past decade because of its advantages on the environment, among the sources of renewable energy we find the wind energy, which knows the fastest growing in the world. It is almost universally recognized as the most promising source of energy to generate clean electricity in the short and medium term [1].

Currently, the development and the multiplication of wind turbines have led the researchers to improve the efficiency of electromechanical conversion and quality of the energy supplied. It is in this context that we present a study on the use of a doubly fed induction generator (DFIG) in a wind system, because of the many advantages over other types of electric machines with the variable speed, since its construction is simple, its low cost, its security interest of operation, its robustness and especially its simple and economical maintenance. Through evolution and development of new technology recent power electronics and informatics, the problems inherent in the controls and operation of the various applications of the speed variables DFIG are resolved and simplified.

In this context, for appropriate operation of the variable speed DFIG, one must insert a power converter PWM and control by vector control orientation of the flow rotor, whose

objective is to regulate the electrical power extract it from the machine to its reference value, we apply this control to successfully DFIG, which gave a good powerful tool for its control. The performance of this control will be conducted by simulation results with interpretations. Figure 1 presents a general structure of the electrical control of the wind energy system, which is studied in this work, constituted the wind turbine with three swivel blade length R, the DFIG generator and the speed multiplier:

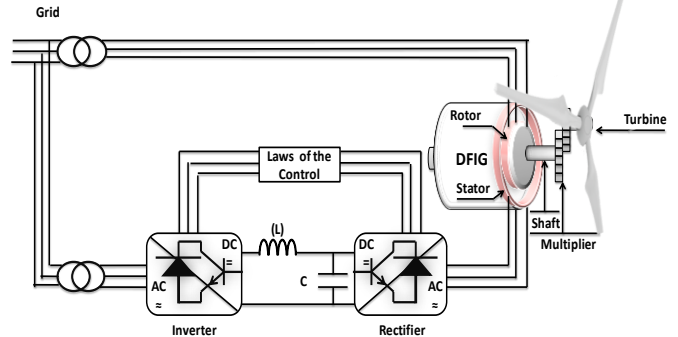


Figure 1. Overall architecture of the control system of the wind.

II. MODELING OF WIND POWER SYSTEM

A. Modeling of the turbine

The modeling of the wind turbine is characterized by the curves of the power coefficient, which corresponds to the relation between the mechanical power extract from the wind and the incident power. The expression for the power extracted available on the rotor of the turbine, is expressed by [2]:

$$\begin{cases} P_{Extracted} = P_{Incident} \cdot C_p(\lambda, \beta) \\ P_{Incident} = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v^3 \end{cases} \quad (1)$$

With:

S : the surface swept by the blades of the turbine (m²).

P : the density of air ($\rho=1.225$ kg/m³).

V : wind speed (m/s).

$C_p(\lambda, \beta)$: Power coefficient.

Hence the power coefficient $C_p(\lambda, \beta)$, to a limit known as Betz limit. This limit is the maximum extractable power for a given wind speed $C_p^{\max}(\lambda, \beta) \approx 0.593$. For the DFIG, the power coefficient is possible to model with a single equation that depends on the speed ratio λ and the orientation angle β of the blades as follows [2]:

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \cdot \left(c_2 \cdot \frac{1}{A} - c_3 \cdot \beta - c_4 \right) \cdot e^{-c_5 \frac{1}{\lambda}} + c_6 \cdot \lambda \quad (2)$$

With:

$$\begin{cases} c_1 = 0.5872 \\ c_2 = 116 \\ c_3 = 0.4 \\ c_4 = 5 \\ c_5 = 21 \\ c_6 = 0.0085 \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \frac{1}{A} = \frac{1}{\lambda + 0.08 \cdot \beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \\ \lambda = \frac{\Omega_t \cdot R}{v} \end{cases} \quad (3)$$

From equation (2), it displays the power coefficient curves as a function of λ for different β values:

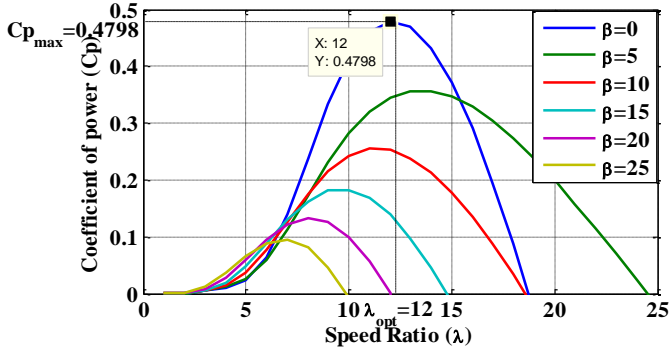


Figure 2. Curves of the Cp power coefficient as a function of λ and β .

From Figure 2, we obtain a maximum power coefficient $C_p^{\max}(\lambda, \beta) = 0.4798$, for a speed ratio $\lambda = 12$ and $\beta = 0$, by setting λ_{opt} and β respectively to their optimal values; the wind system will provide optimal electrical power. The power and mechanical torque of the turbine is noted:

$$P_{mec} = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot v^3 \quad (4)$$

$$C_{mec} = \frac{P_{mec}}{\Omega_t} = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot v^3 \cdot \frac{1}{\Omega_t}$$

With:

Ω_t : The turbine rotation speed.

C_{mec} : Torque on the slow axis (turbine side).

According to equations (1), (2), (3) and (4), we model the turbine as follows:

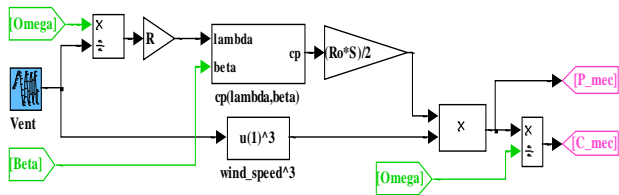


Figure 3. Modeling of the wind turbine.

B. Multiplier modeling

The multiplier is the connection between the wind turbine and DFIG. It is adapted the speed of the turbine to that of the generator as well mechanical torque on the shaft of the generator by the following equations [3]:

$$\Omega_g = \frac{1}{G} \Omega_t \quad (5)$$

$$C_{aer} = \frac{1}{G} C_g$$

With:

Ω_g : generator speed (speed shaft in rad / s).

G: multiplication ratio.

Ω_t : blade rotation speed (output shaft in rad / s).

C_g : mechanical torque on the axis of the generator (Nm).

C_{aer} : mechanical turbine torque (N · m).

The next block diagram represents the modeling of the multiplier for wind:

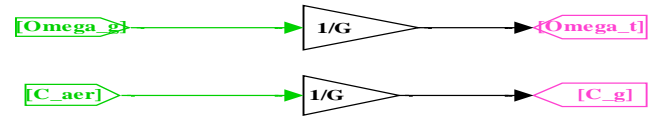


Figure 4. Modeling of wind multiplier.

C. Shaft Modeling

The fundamental equation of the dynamics that characterize the mechanical behavior of the turbine and generator from the total mechanical torque (C_{mec}) applied to the rotor is given by the following formula:

$$J \frac{d\Omega_{mec}}{dt} = C_{mec} \quad (6)$$

$$C_{mec} = C_{ar} - C_{em} - C_{vis}$$

$$C_{vis} = f \cdot \Omega_{mec}$$

With:

Ω_{mec} : Mechanical speed the DFIG.

C_{ar} : Aerodynamic torque on the fast axis of the turbine.

C_{em} : Electromagnetic torque.

f: friction coefficient.

In operation the electromagnetic torque generator C_{mec} has a negative sign. The next block diagram represents the modeling of the shaft for wind:

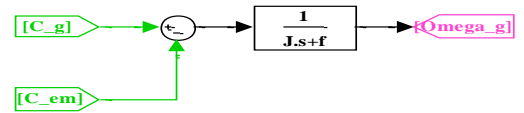


Figure 5. Modeling of the turbine shaft.

III. EXTRACTION OF MAXIMUM POWER BY THE METHOD MPPT

The MPPT (Maximum Power Point Tracking) is a principle for tracking the maximum power point of an electric generator for a variant source. The MPPT has been created to have the best possible connection between the source and the nonlinear grid to extract the maximum power.

In order to capture the maximum power of wind of the incident must permanently adjust the rotational speed of the wind turbine. The wind speed is difficult to measure, we assume that the wind speed is constant over the study period, the rotation speed of the turbine is assumed to be constant with respect to the high inertia of the latter. If we neglect the friction coefficient of the mechanical shaft, we can write the following equation [4]:

$$C_g = C_{em} \quad (7)$$

With, C_g is the torque exerted on the shaft after the multiplier.

Then, the reference of the electromagnetic torque of the turbine is obtained from the following equation:

$$\begin{cases} C_{em_ref} = \frac{C_{aer}}{G} \\ C_{aer} = \frac{1}{2 \cdot \Omega_t} C_{p-max} \cdot \rho \cdot V^3 \\ V = \frac{R \cdot \Omega_t}{\lambda_{opt}} \end{cases} \quad (8)$$

Hence the electromagnetic torque reference is:

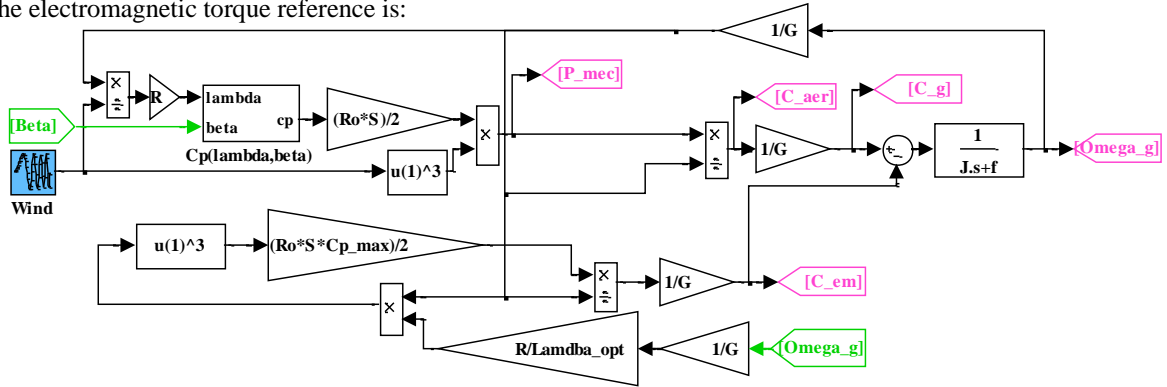


Figure 7. Synoptic diagram of global model the wind turbine with maximum power extraction.

IV. MODELING OF THE DFIG

For a better representation of the behavior of a doubly fed induction generator, it is necessary to use a specific model and simple. The two-phase models (d, q) given by the Park transformation is used.

A. The electrical equations of DFIG

The equations of the stator voltages V_s (d, q) and the rotor V_r (d, q), the dynamic model are expressed by DFIG [5]:

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s \cdot I_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \cdot \varphi_{sq} \\ V_{sq} = R_s \cdot I_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s \cdot \varphi_{sd} \\ V_{rd} = R_r \cdot I_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_r \cdot \varphi_{rq} \\ V_{rq} = R_r \cdot I_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \omega_r \cdot \varphi_{rd} \end{cases}$$

$$C_{em_ref} = \frac{1}{2 \cdot \lambda_{opt} \cdot G^3} C_{p-max} \cdot \rho \cdot \pi^2 \cdot \Omega^2 \quad (9)$$

The following block diagram shows the extraction modeling of the maximum power from the equation (9):

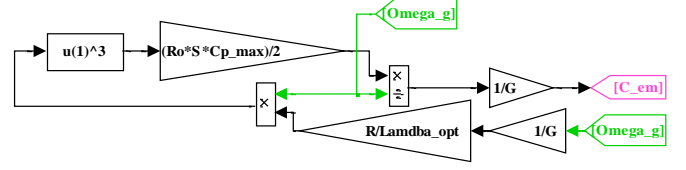


Figure 6. Maximum power extraction model by startigé MPPT.

On the basis of the previous equations and models, the global schema we can give to all the dynamic model of the wind turbine (Figure 7):

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s \cdot I_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \cdot \varphi_{sq} \\ V_{sq} = R_s \cdot I_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s \cdot \varphi_{sd} \\ V_{rd} = R_r \cdot I_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_r \cdot \varphi_{rq} \\ V_{rq} = R_r \cdot I_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \omega_r \cdot \varphi_{rd} \\ I_{sd} = \frac{1}{\sigma \cdot L_s} \cdot \varphi_{sd} - \frac{M_{sr}}{\sigma \cdot L_r} \cdot \varphi_{sd} \\ I_{sq} = \frac{1}{\sigma \cdot L_s} \cdot \varphi_{sq} - \frac{M_{sr}}{\sigma \cdot L_s \cdot L_r} \cdot \varphi_{sq} \\ I_{rd} = \frac{1}{\sigma \cdot L_r} \cdot \varphi_{rd} - \frac{M_{sr}}{\sigma \cdot L_r \cdot L_s} \cdot \varphi_{sd} \\ I_{rq} = \frac{1}{\sigma \cdot L_r} \cdot \varphi_{rq} - \frac{M_{sr}}{\sigma \cdot L_r \cdot L_s} \cdot \varphi_{sq} \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s \cdot I_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \cdot \varphi_{sq} \\ V_{sq} = R_s \cdot I_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s \cdot \varphi_{sd} \\ V_{rd} = R_r \cdot I_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_r \cdot \varphi_{rq} \\ V_{rq} = R_r \cdot I_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \omega_r \cdot \varphi_{rd} \\ I_{sd} = \frac{1}{\sigma \cdot L_s} \cdot \varphi_{sd} - \frac{M_{sr}}{\sigma \cdot L_r} \cdot \varphi_{sd} \\ I_{sq} = \frac{1}{\sigma \cdot L_s} \cdot \varphi_{sq} - \frac{M_{sr}}{\sigma \cdot L_s \cdot L_r} \cdot \varphi_{sq} \\ I_{rd} = \frac{1}{\sigma \cdot L_r} \cdot \varphi_{rd} - \frac{M_{sr}}{\sigma \cdot L_r \cdot L_s} \cdot \varphi_{sd} \\ I_{rq} = \frac{1}{\sigma \cdot L_r} \cdot \varphi_{rq} - \frac{M_{sr}}{\sigma \cdot L_r \cdot L_s} \cdot \varphi_{sq} \end{cases} \quad (11)$$

B. The magnetic equations

The following magnetic equations are taken from electrical equations (11):

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = L_s \cdot I_{sd} + M_{sr} \cdot I_{rd} \\ \varphi_{sq} = L_s \cdot I_{sq} + M_{sr} \cdot I_{rq} \\ \varphi_{rd} = L_r \cdot I_{rd} + M_{sr} \cdot I_{sd} \\ \varphi_{rq} = L_r \cdot I_{rq} + M_{sr} \cdot I_{sq} \end{cases} \quad (12)$$

C. The mechanical equation

The electromagnetic torque of the DFIG is:

$$C_{em} = P(\varphi_{rd} \cdot \varphi_{sq} - \varphi_{rq} \cdot \varphi_{sd}) \quad (13)$$

With:

$\varphi_s(d,q)$, $\varphi_r(d,q)$: Stator and rotor two-phase flow in the reference of PARK.

$I_s(d,q)$, $I_r(d,q)$: Stator currents and rotor in the reference of PARK.

R_s , R_r : Stator and rotor resistances.

L_s , L_r : Inductors cyclic stator and rotor.

M : Cyclic mutual inductance.

p : Number of machine pole pairs.

ω_s : Pulsations of the stator electrical quantities.

ω_r : Pulsations of the rotor electrical quantities.

V. VECTOR CONTROL OF DFIG BY ORIENTATION FLOW ROTOR

In this work we have proposed a vector control law for DFIG based on the orientation flow rotor. In this respect, it demonstrates the relations between the stator and rotor variables. These relations will allow the rotor to act on signals to control the exchange of active and reactive power between the rotor of the machine and the grid.

In this control, the flow rotor φ_r is oriented in the direction axis d. Thus, we can write:

$$\varphi_{rd} = \varphi_r; \varphi_{rq} = 0 \quad (14)$$

The expression of the flow rotor and the stator then becomes:

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = \frac{L_s}{M_{sr}} \varphi_{rd} - \frac{L_r}{M_{sr}} L_s \sigma I_{rd} \\ \varphi_{sq} = -\frac{L_r \cdot L_s}{M_{sr}} \cdot \sigma \cdot I_{rq} \\ \varphi_{rd} = M_{sr} \cdot I_{sd} \\ \varphi_{rq} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

The expression of the electromagnetic torque then becomes:

$$C_{em} = P(\varphi_{rd} \cdot \varphi_{sq}) = -L_r \cdot L_s \cdot \sigma \cdot I_{rq} \cdot I_{sd} \quad (16)$$

From the previous equation, we can derive the equations linking the rotor and stator voltages:

$$\begin{cases} V_{sd} = -\frac{R_s L_s + R_r L_r}{M_{sr}} I_{rd} - \frac{L_r L_s \sigma}{M_{sr}} \frac{dI_{rd}}{dt} + \frac{\omega_s L_s L_r \sigma - \frac{R_s R_r}{M_{sr}}}{M_{sr}} I_{rq} + \frac{L_s}{M_{sr}} V_{rd} + \frac{R_s}{\omega_r M_{sr}} V_{rq} \\ V_{sq} = -\frac{\omega_s R_r L_s + R_r L_r}{M_{sr}} I_{rq} - \frac{L_r L_s \sigma}{M_{sr}} \frac{dI_{rq}}{dt} - \omega_s \frac{L_r}{M_{sr}} L_s \sigma I_{rd} + \frac{\omega_s L_s}{\omega_r M_{sr}} V_{rq} \\ V_{rd} = \frac{M_{sr}}{L_s} \left(\frac{R_s L_s + R_r L_r}{M_{sr}} I_{rd} + \frac{L_r L_s \sigma}{M_{sr}} \frac{dI_{rd}}{dt} - \frac{\omega_s L_s L_r \sigma - \frac{R_s R_r}{M_{sr}}}{M_{sr}} I_{rq} - \frac{R_s}{\omega_r M_{sr}} V_{rq} + V_{sd} \right) \\ V_{rq} = \frac{\omega_s M_{sr}}{\omega_s L_s} \left(-\frac{\omega_s R_r L_s + R_r L_r}{M_{sr}} I_{rq} + \frac{L_r L_s \sigma}{M_{sr}} \frac{dI_{rq}}{dt} + \omega_s \frac{L_s L_r \sigma}{M_{sr}} I_{rd} + V_{sq} \right) \end{cases} \quad (17)$$

The vector control the DFIG allows us to express the expressions of active and reactive power as followings:

$$\begin{cases} P_r = V_{rd} \cdot I_{rd} + V_{rq} \cdot I_{rq} \\ Q_r = V_{rq} \cdot I_{rd} - V_{rd} \cdot I_{rq} \end{cases} \quad (18)$$

We replace the Vrd and Vrq tensions in Pr and Qr as obtained:

$$\begin{cases} P_r = R_r I_{rd}^2 + R_r I_{rq}^2 + \omega_r \varphi_{rd} I_{rd} \\ Q_r = \omega_r \varphi_{rd} I_{rd} \end{cases} \quad (19)$$

The power Pr is proportional to the current Irq if the flow is kept constant. We can then write:

$$P_r - P_{rj} = K I_{rq} \quad (20)$$

$$Q_r = K I_{rd}$$

The variables references values are defined to control. Thus we have the rotor currents reference.

$$I_{rq}^* = \frac{P_r^*}{K} \quad (21)$$

$$I_{rd}^* = \frac{Q_r^*}{K}$$

VI. CURRENT CONTROL

The current control ensures voltage regulation of the DC bus and control power factor of the grid side. The objective of the control is to maintain the voltage of DC bus constant while absorbing a current to be sinusoidal as possible, with the possibility of the grid side the power factor adjustment. The grid side converter is controlled such that the active power and reactive power grid side are written as follows [6]:

$$P = \frac{3}{2} U_m \cdot I_d \quad (21)$$

$$Q = -\frac{3}{2} U_m \cdot I_q$$

With, U_m is the amplitude of the phase voltage.

Applying the mesh law, we obtain the tension of the filter is written in matrix form in the "abc" plan.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} = R_r \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} + L_r \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d_{n1} \\ d_{n2} \\ d_{n3} \end{pmatrix} V_{dc} \quad (22)$$

This gives the differential equation of continuous DC bus:

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{1}{C_{dc}} [(2d_{n1} + d_{n2})I_1 + (d_{n1} + 2d_{n2})I_2] \quad (23)$$

With:

$$\begin{cases} C_{dc} \frac{dV_{dc}}{dt} = I_{dc} \\ I_{dc} = \sum_{m=1}^3 d_{nm} I_m \end{cases} \text{ et } \begin{cases} I_3 = -I_1 - I_2 \\ d_{n3} = -d_{n1} - d_{n2} \end{cases}$$

The representation status of an inverter in the plan 'abc' is non-linear (variable in time). We use the PARK transformation plan "dq" to facilitate implantation and extraction of harmonics:

$$\begin{pmatrix} V_d \\ V_q \end{pmatrix} = [P(\theta)] \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} d_{nd} \\ d_{nq} \end{pmatrix} = [P(\theta)] \begin{pmatrix} d_{n1} \\ d_{n2} \\ d_{n3} \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} I_d \\ I_q \end{pmatrix} = [P(\theta)] \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix}$$

$[P(\theta)]$: Matrix Park

By applying the Park transformation to equation (22) and (23) we find the following relation

$$\begin{cases} V_d = R_r I_d + L_r \frac{dI_d}{dt} + d_{nd} V_{dc} - L_r \omega I_q \\ V_q = R_r I_q + L_r \frac{dI_q}{dt} + d_{nq} V_{dc} + L_r \omega I_d \\ \frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{1}{C_{dc}} [d_{nd} I_d + d_{nq} I_q] \end{cases} \quad (24)$$

The variables references values are defined to control. These are the reference voltages for the inverter.

$$\begin{cases} V_d^* = V_d - U_d - e_q \\ V_q^* = V_q - U_q - e_d \end{cases}$$

With:

$$\begin{cases} U_d = R_r I_d + L_r \frac{dI_d}{dt} \\ U_q = R_r I_q + L_r \frac{dI_q}{dt} \end{cases} \text{ et } \begin{cases} e_d = -L_r \omega I_q \\ e_q = L_r \omega I_d \end{cases}$$

The general structure of the flow rotor orientation in a wind system is detailed in the figure below:

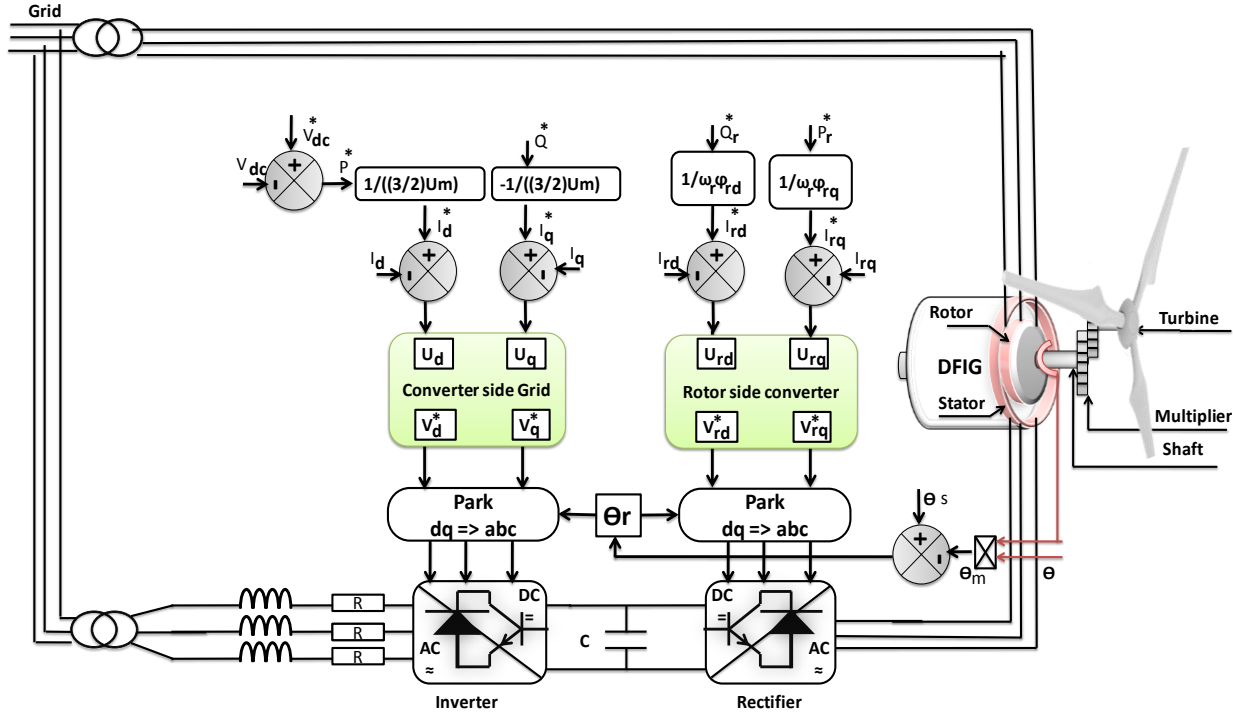


Figure 8. General structure of the orientation control the flow rotor applied to a wind system.

VII. SIMULATION AND TEST PERFORMANCE & DISCUSSION

The following figure presents the global model of the wind system is simulated in the Matlab / Simulink /. The model

consists: the wind turbine, the doubly fed induction generator (DFIG), two power converters that connect the rotor to the grid:

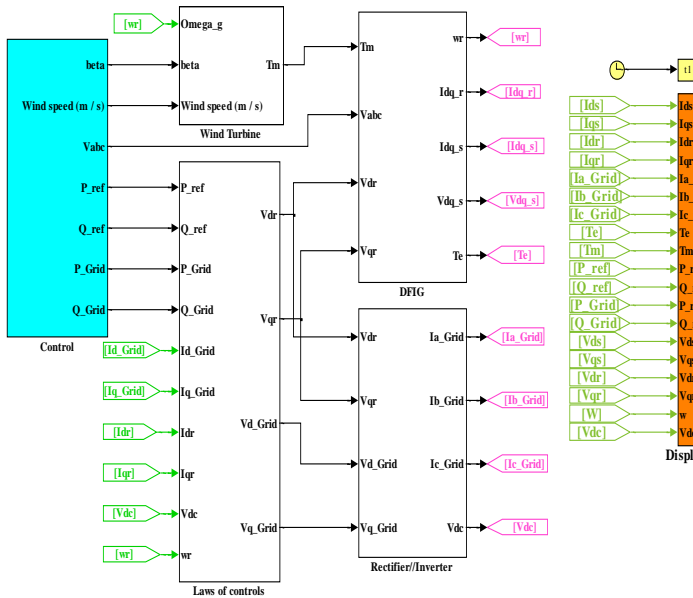
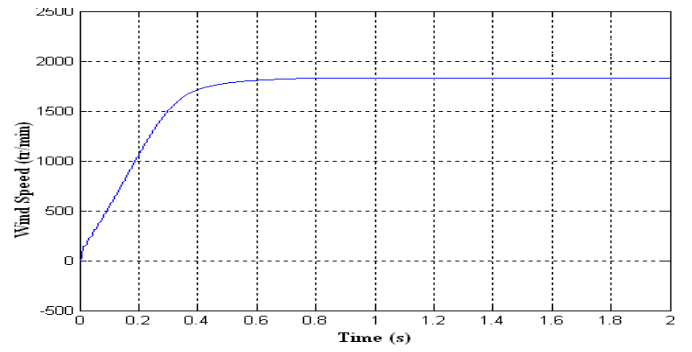
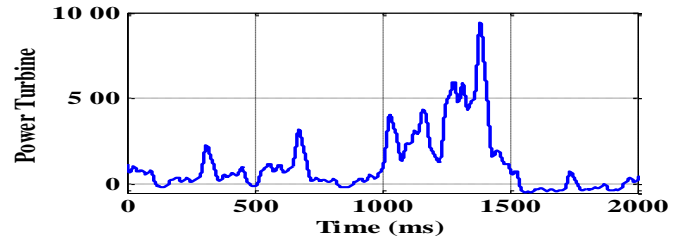


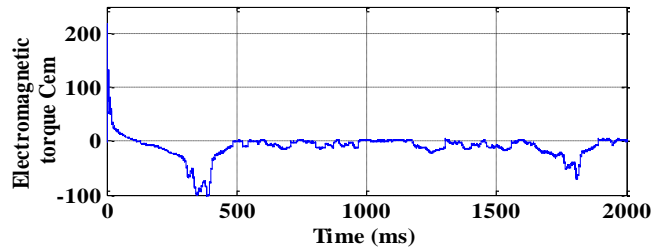
Figure 9. Simulation general diagram of the orientation control the flow rotor on Matlab / Simulink.



(a)



(b)



(c)

Figure 11. (a) speed of the wind turbine, (b) power of the turbine, (c) electromagnetic torque.

The system of the wind power is simulated in the MATLAB environment with the following parameters:

TABLE I. PARAMETERS OF WIND POWER SYSTEM

Parameters of the turbine	
Diameter of blade	R=35.25 m
Gain multiplier	G=16
Inertia of the turbine	J=0.3125 Kg.m ²
Coefficient of viscosity	f=0.00673 m.s ⁻¹
Parameters of the DFIG	
stator resistance	Rs=0.455
rotor resistance	Rr=0.62
stator inductance	Ls=0.084H
rotor inductance	Lr=0.081H
Mutual inductance	Msr=0.078H
Number of poles	P=2

A random wind profile is applied to the system Figure 10.

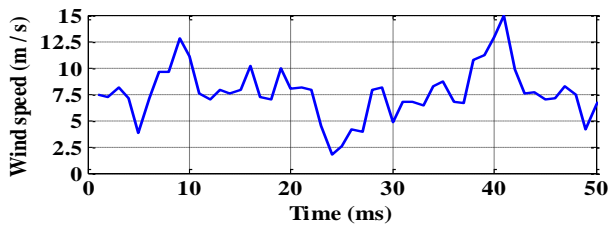
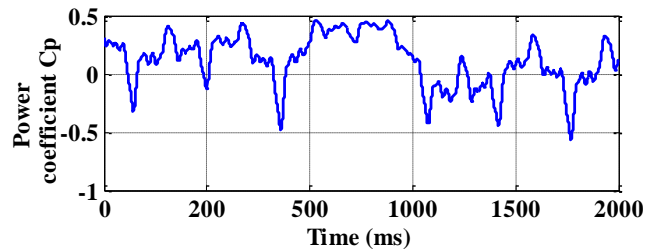
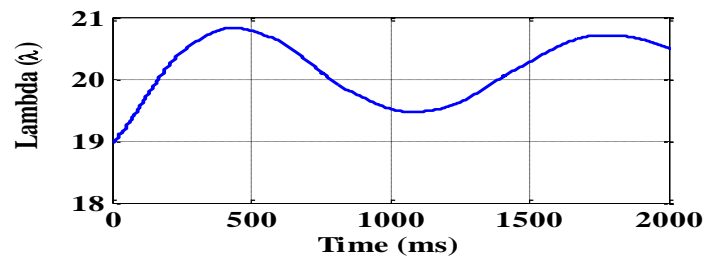


Figure 10. Profile of wind speed.

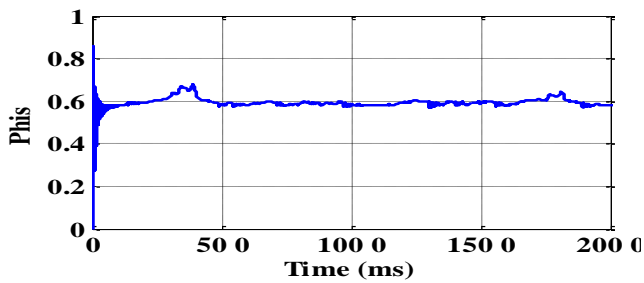
The following figures show the performance of the control system.



(a)



(b)



(c)

Figure 12. (a) coefficient power, (b) lambda (c) phis.

The following two figures show the wave form of the active and reactive power, stator and rotor.

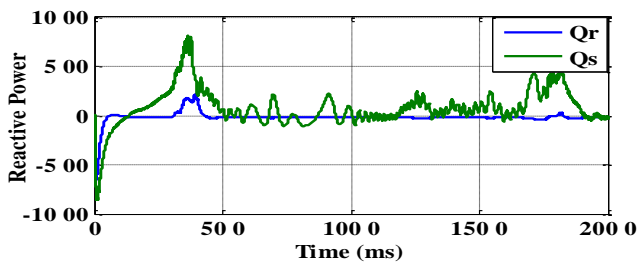
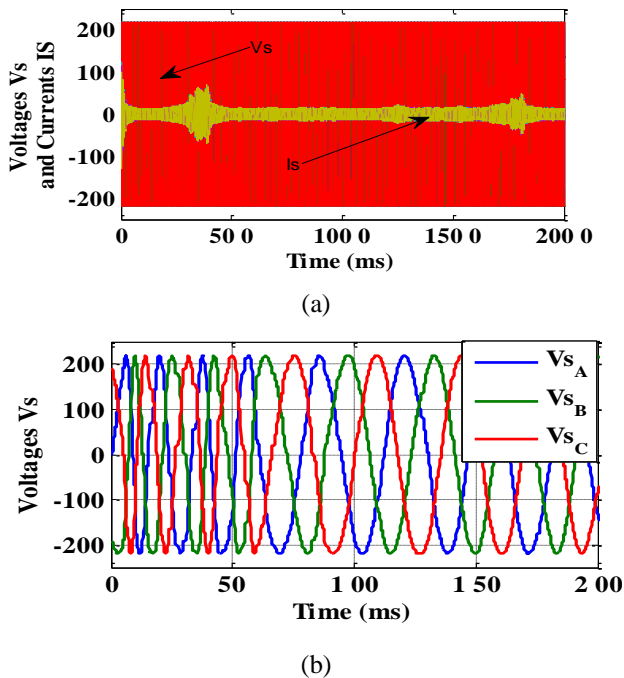
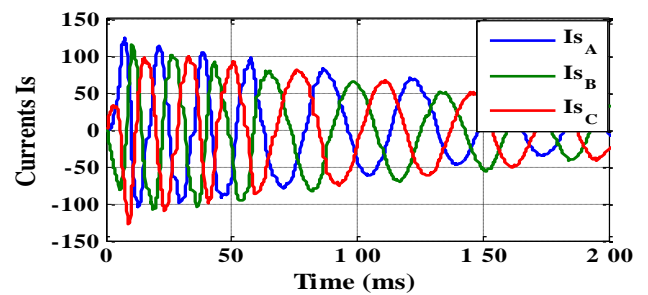


Figure 13. Power reactive stator and rotor.

The following figure shows the wave forms of the voltages and stator currents.



(b)



(c)

Figure 14. (a) Stator voltage and current in the plan "abc" (b) Zoom stator voltage in the plan "abc", (c) Zoom stator current in the plan "abc".

One can notice that the stator voltage is equal to that of the grid, while the obtained currents are sinusoidal, which implies a clean energy without harmonics supplied or drawn by the DFIG. The current and stator voltage are in phase opposition, this means that the stator active power is supplied from the generator to the grid.

VIII. CONCLUSION

The object of this work consists in modeling, control and simulation of a wind system operating at random wind (speed). The application of vector control orientation of the flow rotor gives a simple stabilization of the wind system.

The results show that the proposal of the rotor flux orientation control system to DFIG of variable speed can be considered as an interesting solution in field of wind energy. In this respect, this work can be continued and completed by the implementation of this command in a DSP card.

REFERENCES

- [1] B.Bossoufi, M.Karim, A.Lagrioui, M.Taoussi, A.Derouich "Modeling and Backstepping Control of DFIG Generators for Wide-Range Variable-speed Wind Turbines" Journal of Electrical Systems JES, pp317-330. Vol.10 No.3, September 2014.
- [2] B.Bossoufi, M.Karim, A.Lagrioui, M.Taoussi, M.L.EL Hafyani "Backstepping control of DFIG Generators for Wide-Range Variable-Speed Wind Turbines" IJAAC International Journal of Automation and Control, pp 122-140, Vol.8 No.2, July 2014.
- [3] B.Bossoufi, M.Karim, A.Lagrioui, M.Taoussi, "FPGA-Based Implementation nonlinear backstepping control of a PMSM Drive" IJPEDS International Journal of Power Electronics and Drive System, pp 12-23 Vol.4 No.1, March 2014.
- [4] M.Taoussi, M.Karim, B.Bossoufi, A.Lagrioui, M.El Mahfoud, "The Fuzzy Control for Rotor Flux Orientation of the double-fed asynchronous generator Drive", International Journal of Computers & Technology, Mai 2013.
- [5] M.Taoussi, M.Karim, B.Bossoufi, D. Hammoumi, A.Lagrioui, "Speed Backstepping control of the double-fed induction machine drive", Journal of Theoretical & Applied Information Technology, pp 189-199 Vol 74 Issue 2, april 2015.
- [6] Karim Belmokhtar, Mamadou Lamine Doumbia, "Modélisation et commande d'un système éolien à base de machine asynchrone à double alimentation pour la fourniture de puissances au réseau électrique" Journal of Scientific Research, pp 54-62 Vol. 2 No 0, November 2010.
- [7] W. L. Kling and J. G. Slootweg, "Wind Turbines as Power Plants". in Proceeding of the IEEE/Cigré workshop on Wind Power and the impacts on Power Systems, 17-18 June 2002, Oslo, Norway.

Contribution à l'optimisation des performances d'une Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA) fonctionnant en mode moteur

Najib EL OUANJLI, Aziz DEROUICH, Abdelaziz EL GHZIZAL
Laboratoire de Productique, Energie et Développement Durable (LPE2D), Ecole Supérieure de Technologie Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès, Maroc
e.najib0@gmail.com, aziz.derouich@usmba.ac.ma, abdelaziz.elghzizal@usmba.ac.ma

Mohammed TAOUSSI
Laboratoire d'Intégration des Systèmes et des Technologies Avancées (LISTA), Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès, Maroc
m.taoussi0@gmail.com

Résumé— Notre contribution dans ce travail consiste en l'étude et l'optimisation des performances d'une Machine Asynchrone à double alimentation (MADA) fonctionnant en mode moteur vis-à-vis les variations paramétriques internes et externes en utilisant une commande basée sur l'orientation du flux rotorique.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'étude du principe de fonctionnement de la MADA et à sa modélisation. Dans un deuxième temps, nous avons réalisé l'implémentation de la commande par orientation du flux rotorique sur l'environnement Matlab/Simulink.

L'analyse des résultats de simulation de cette approche de commande montre clairement que le système suit parfaitement les valeurs de référence et, par conséquent, fournit une bonne performance statique et dynamique de la machine étudiée.

Mots-clés—Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA), commande par orientation du flux rotorique, MLI, Matlab/Simulink.

I. INTRODUCTION

L'alimentation de la Machine Asynchrone à Double Alimentation fonctionnant en mode moteur et à vitesse variable est assurée par deux onduleurs de tension qui sont connectés réciproquement aux enroulements statoriques et rotoriques. La commande de cette machine, essentiellement non linéaire à cause du couplage qui existe entre le flux et le couple électromagnétique, est complexe.

La commande par orientation du flux rotorique présente une solution attractive pour avoir un fonctionnement avec les meilleures performances de cette machine, dans les applications à vitesse variable.

Dans ce travail, nous présentons la commande par orientation du flux rotorique d'une MADA fonctionnant en mode moteur. L'objectif est de garantir les meilleures performances en matière de la robustesse vis-à-vis des variations de ses paramètres et du couple de charge.

II. DESCRIPTION DU SYSTEME

Le système global est illustré par la figure 1 ci-dessus, il est constitué de deux convertisseurs (redresseur, onduleur), l'un est connecté au stator et l'autre est connecté au rotor de la machine étudiée [1].

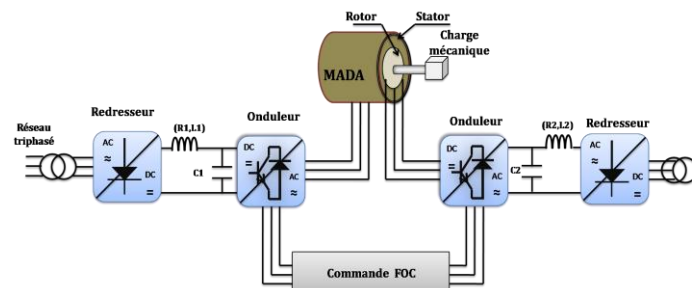


Figure. 1. Schéma global du système étudié.

Dans le but de commander le système électrique, il est nécessaire d'étudier et d'analyser son modèle mathématique en tenant compte de certaines hypothèses afin d'obtenir un modèle simplifié.

A. Modélisation de la MADA

Le modèle de la machine asynchrone à double alimentation après la transformation de Park est défini par les équations suivantes [2]

1. Equations électriques

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s \cdot i_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \frac{d\theta_s}{dt} \cdot \varphi_{sq} \\ V_{sq} = R_s \cdot i_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \frac{d\theta_s}{dt} \cdot \varphi_{sd} \\ V_{rd} = R_r \cdot i_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \frac{d\theta_r}{dt} \cdot \varphi_{rq} \\ V_{rq} = R_r \cdot i_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \frac{d\theta_r}{dt} \cdot \varphi_{rd} \end{cases} \quad (1)$$

2. Equations magnétiques

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = L_s \cdot i_{sd} + M_{sr} \cdot i_{rd} \\ \varphi_{sq} = L_s \cdot i_{sq} + M_{sr} \cdot i_{rq} \\ \varphi_{rd} = L_r \cdot i_{rd} + M_{sr} \cdot i_{sd} \\ \varphi_{rq} = L_r \cdot i_{rq} + M_{sr} \cdot i_{sq} \end{cases} \quad (2)$$

3. Equations mécaniques

L'équation fondamentale de la dynamique :

$$C_{em} = C_r + J \cdot \frac{d\Omega}{dt} + f \cdot \Omega \quad (3)$$

Avec :

$$\begin{cases} C_{em} = p \cdot (\varphi_{sd} \cdot i_{sq} - \varphi_{sq} \cdot i_{sd}) \\ C_{em} = p \cdot (\varphi_{rq} \cdot i_{rd} - \varphi_{rd} \cdot i_{rq}) \end{cases} \quad (4)$$

L'implémentation sur Matlab/Simulink de ce modèle est donnée par la figure suivante :

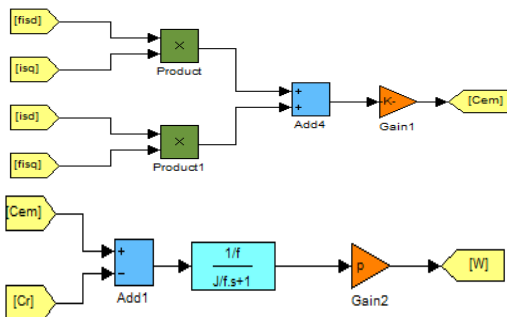


Figure.2: Modèle Simulink de la vitesse Ω et le couple électromagnétique

Les paramètres utilisés sont cités à la fin de cet article.

B. Modélisation des convertisseurs

Les convertisseurs connectés à la MADA sont constitués d'un redresseur, filtre RLC et d'un onduleur de tension.

1. Modélisation du redresseur:

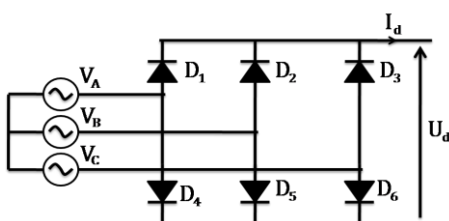


Figure.3. Schéma du redresseur triphasé.

L'équation de la valeur moyenne de la tension redressée est la suivante:

$$V_0 = V_{moy} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \cdot V_{max} \quad (5)$$

2. Modélisation du filtre

Pour minimiser les ondulations de la tension redressée, on insère à l'entrée de l'onduleur un filtre RLC. Ce dernier est schématisé par la figure 4 ci-dessus.

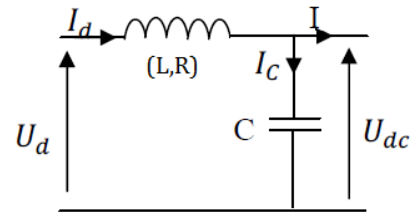


Figure. 4. Schéma du filtre passe bas.

Les équations du filtre sont données par :

$$\begin{cases} U_d(t) = L \cdot \frac{dI_d}{dt} + R \cdot I_d + U_{dc}(t) \\ \frac{dU_{dc}(t)}{dt} = \frac{1}{C} \cdot (I_d(t) - I(t)) \end{cases} \quad (6)$$

3. Modélisation de l'onduleur :

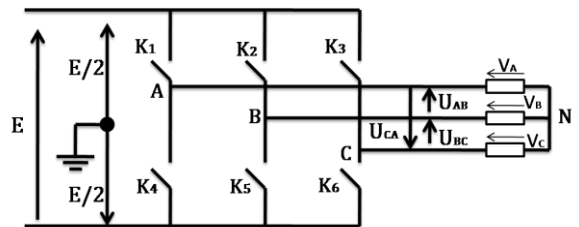


Figure. 5. Schéma simplifié de l'onduleur triphasé.

Le modèle mathématique de l'onduleur triphasé est représenté par le système suivant [3] :

$$\begin{pmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{pmatrix} = \frac{E}{6} \cdot \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Avec :

$$\begin{cases} S_1=1 & \text{si } K1 \text{ fermé si non } S_1=-1 \\ S_2=1 & \text{si } K2 \text{ fermé si non } S_2=-1 \\ S_3=1 & \text{si } K3 \text{ fermé si non } S_3=-1 \end{cases}$$

L'implémentation sur Matlab/Simulink est donnée par le graphe de la figure 6 suivante :

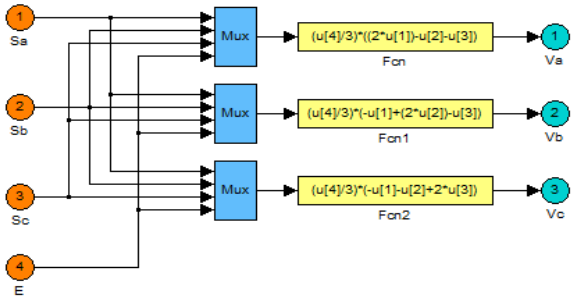


Figure.6. Modèle Simulink de l'onduleur triphasé.

L'ouverture et la fermeture des interrupteurs K_i ($i=1, 2, 3, 4, 5, 6$) sont contrôlés par la technique de Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI), son principe est présenté dans la figure 7 suivante [4].

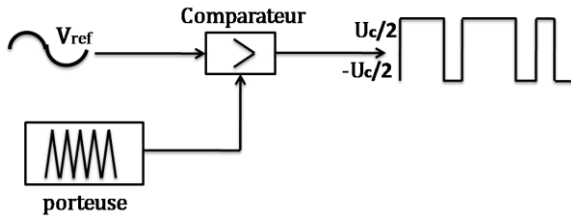


Figure. 7. Schéma synoptique de la MLI.

III. COMMANDE PAR ORIENTATION DU FLUX ROTORIQUE:

A. Principe de la commande FOC:

Le but d'orientation du flux est de rendre le comportement de la machine asynchrone à double alimentation similaire à celui d'une machine à courant continu à excitation séparée dont le couple est régi par le courant d'induit I_f et le courant inducteur I_a , La figure 8 suivante illustre cette analogie:

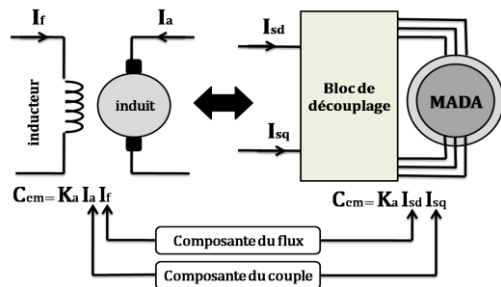


Figure. 8. Analogie entre la commande de la machine à courant continu et la MADA.

L'application de cette commande à la MADA consiste à réaliser un découplage entre les grandeurs générant le couple et le flux [5-6].

B. Implémentation de la commande FOC :

La commande par orientation du flux, consiste à aligner le flux rotorique suivant l'axe d du référentiel tournant, On aura donc: $\varphi_{rd} = \varphi_r$ et par suite $\varphi_{rq} = 0$ [7].

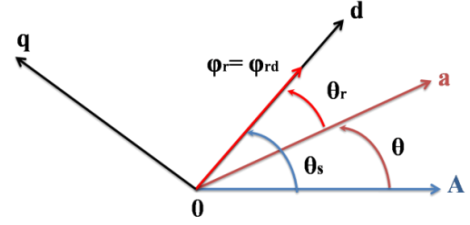


Figure. 9. Orientation du flux rotorique.

A : phase statorique.

a : phase rotorique.

(d,q) : repère de Park.

D'après l'équation (2) :

$$\varphi_{rq} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} I_{rq} = -\frac{M_{sr}}{L_r} \cdot I_{sq} \\ I_{sq} = -\frac{L_r}{M_{sr}} \cdot I_{rq} \end{cases} \quad (8)$$

L'expression du couple électromagnétique devient :

$$C_{em} = p \cdot (\varphi_{rq} \cdot i_{rd} - \varphi_{rd} \cdot i_{rq}) = -p \cdot \varphi_{rd} \cdot i_{rq} \quad (9)$$

En imposant un facteur de puissance unitaire au rotor :

$$i_{rd} = 0 \Leftrightarrow I_{sd} = \frac{\varphi_{rd}}{M_{sr}} \quad (10)$$

Afin d'obtenir un bon découplage entre les axes d et q, on définit les tensions intermédiaires par les équations suivantes [8] :

$$\begin{cases} V_{tsd} = V_{sd} - \frac{M_{sr}}{L_r} \cdot V_{rd} \\ V_{tsq} = V_{sq} - \frac{M_{sr}}{L_r} \cdot V_{rq} \\ V_{trd} = V_{rd} - \frac{M_{sr}}{L_s} \cdot V_{sd} \\ V_{trq} = V_{rq} - \frac{M_{sr}}{L_s} \cdot V_{sq} \end{cases} \quad (11)$$

D'après les équations (1), (2) et (11), on obtient :

$$\begin{cases} V_{tsd} = R_s \cdot I_{sd} + \sigma \cdot L_s \frac{dI_{sd}}{dt} - R_r \cdot \frac{M_{sr}}{L_r} \cdot I_{rd} - \varphi_{sq} \cdot \omega_s + \frac{M_{sr}}{L_r} \cdot \varphi_{rq} \cdot (\omega_s - \omega) \\ V_{tsq} = R_s \cdot I_{sq} + \sigma \cdot L_s \frac{dI_{sq}}{dt} - R_r \cdot \frac{M_{sr}}{L_r} \cdot I_{rq} + \varphi_{sd} \cdot \omega_s - \frac{M_{sr}}{L_r} \cdot \varphi_{rd} \cdot (\omega_s - \omega) \\ V_{trd} = R_r \cdot I_{rd} + \sigma \cdot L_r \frac{dI_{rd}}{dt} - R_s \cdot \frac{M_{sr}}{L_s} \cdot I_{sd} - \varphi_{rq} \cdot (\omega_s - \omega) + \frac{M_{sr}}{L_s} \cdot \varphi_{sq} \cdot \omega_s \\ V_{trq} = R_r \cdot I_{rq} + \sigma \cdot L_r \frac{dI_{rq}}{dt} - R_s \cdot \frac{M_{sr}}{L_s} \cdot I_{sq} + \varphi_{rd} \cdot (\omega_s - \omega) - \frac{M_{sr}}{L_s} \cdot \varphi_{sd} \cdot \omega_s \end{cases} \quad (12)$$

Alors :

$$\begin{cases} V_{tsd} = V_{tsdc} + V_{tsdc1} = R_s \cdot I_{sd} + \sigma \cdot L_s \frac{dI_{sd}}{dt} + V_{tsdc1} \\ V_{tsq} = V_{tsqc} + V_{tsqc1} = R_s \cdot I_{sq} + \sigma \cdot L_s \frac{dI_{sq}}{dt} + V_{tsdc1} \\ V_{trd} = V_{trdc} + V_{trdc1} = R_r \cdot I_{rd} + \sigma \cdot L_r \frac{dI_{rd}}{dt} + V_{trdc1} \\ V_{trq} = V_{trqc} + V_{trqc1} = R_r \cdot I_{rq} + \sigma \cdot L_r \frac{dI_{rq}}{dt} + V_{trqc1} \end{cases} \quad (13)$$

Où V_{tsdc1} , V_{tsqc1} , V_{trdc1} et V_{trqc1} sont considérés comme des termes de compensation.

Les fonctions de transfert reliant les composantes statoriques et rotoriques de chaque axe sont:

$$\begin{cases} \frac{I_{sd}(s)}{V_{tsdc}(s)} = \frac{I_{sq}(s)}{V_{tsqc}(s)} = \frac{1}{R_s + \sigma L_s \cdot s} \\ \frac{I_{rd}(s)}{V_{trdc}(s)} = \frac{I_{rq}(s)}{V_{trqc}(s)} = \frac{1}{R_r + \sigma L_r \cdot s} \end{cases} \quad (14)$$

A partir des expressions des équations établies, nous pouvons tirer un tableau récapitulatif de connexion fixant les objectifs de la stratégie de contrôle avec les références des variables d'action impliqués:

Objectifs	Les courants de référence
$\varphi_{rd} = \varphi_r$	$I_{sd}^* = \frac{1}{M_{sr}} \varphi_{rd}^*$
$\varphi_{rq} = 0$	$I_{sq}^* = \frac{L_r}{p \cdot M_{sr} \cdot \varphi_{rd}^*} C_{em}^*$
$Qr=0, (\cos \varphi=1)$	$I_{rd}^* = 0$
$C_{em}^* = C_{em}$	$I_{rq}^* = -\frac{1}{p \cdot \varphi_{rd}^*} C_{em}^*$

Tableau.1 : courants de référence

La figure 10 présente le principe de la commande appliquée à la machine asynchrone à double alimentation :

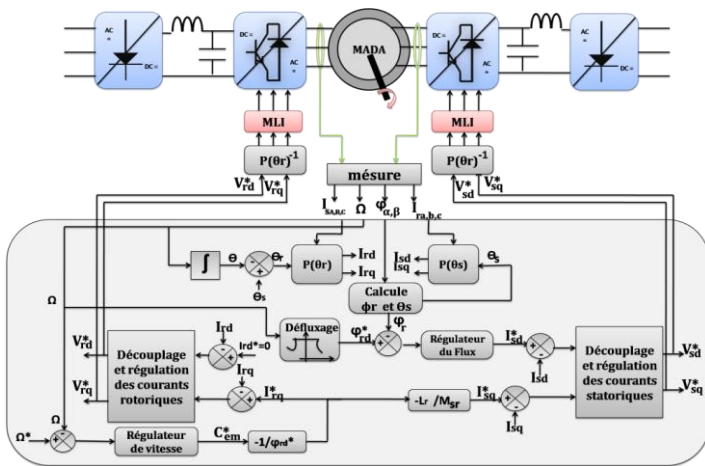


Figure.10. Schéma bloc de la commande par orientation su flux rotorique.

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION :

Le modèle global du système étudié est simulé dans l'environnement Matlab/Simulink. Les figures suivantes représentent les résultats de simulation de la commande par orientation du flux de la machine asynchrone à double alimentation.

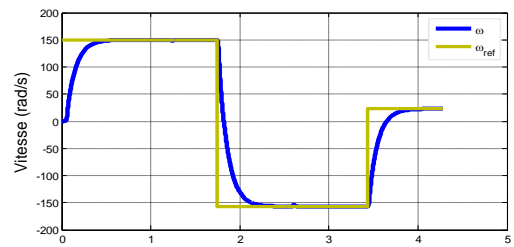


Figure. 11. La vitesse mécanique.

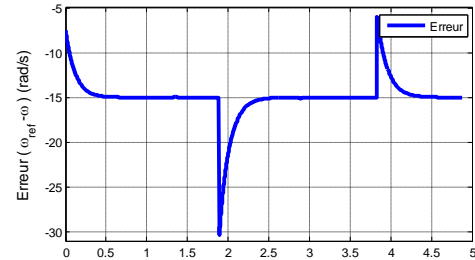


Figure . 12. Erreur de vitesse.

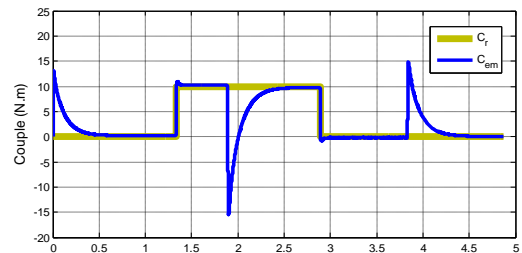
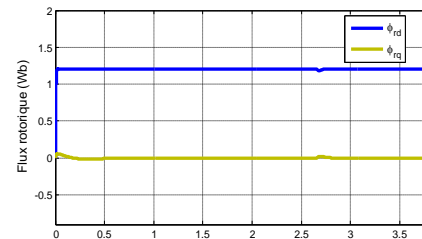
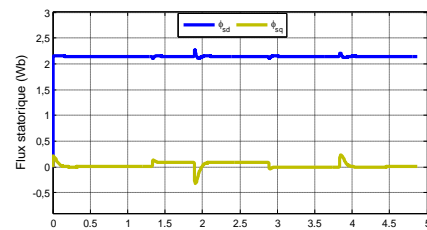


Figure . 13. Le couple.

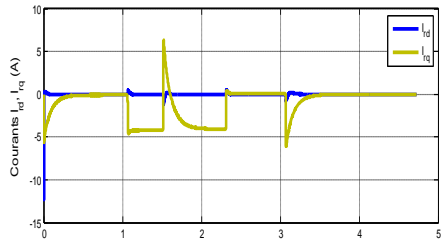


(a)

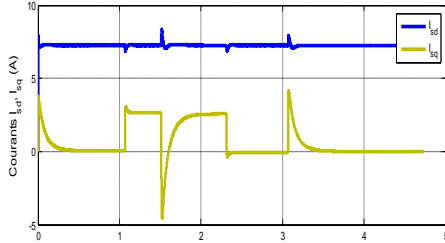


(b)

Figure .14 : (a) Flux statoriques direct et quadratique, (b) flux rotoriques direct et quadratique.



(a)



(b)

Figure . 15. (a) Courants rotoriques directe et quadratique, (b) courants statoriques directe et quadratique.

D'après les résultats de simulation obtenus, nous pouvons constater que:

- La vitesse de rotation suit bien sa valeur de référence ($\omega_{ref}=150$ rad/s) avec une erreur de poursuite nulle en régime permanent et faible en régime transitoire (figure 11 et 12).
- Le couple électromagnétique suit bien la référence (figure 13).
- Le principe d'orientation du flux est assuré (figure 14), car la composante du flux rotorique sur l'axe q est nulle ($\phi_{rq} = 0$), par contre sa composante sur l'axe d est constante ($\phi_{rd} = \phi_r$).
- Le courant statorique I_{sq} est proportionnel avec le couple électromagnétique, et sa composante sur l'axe d reste constante (Figure 15).

Ces résultats montrent que la réponse de la vitesse et du couple électromagnétique sont très satisfaisante.

V. CONCLUSION :

Dans ce travail, nous avons présenté la commande par orientation du flux rotorique appliqué à la MADA en mode moteur, alimentée par deux convertisseurs l'un sur stator et l'autre sur rotor. Après une étude de la modélisation du système, nous avons fait l'implémentation de la commande FOC basée sur le découplage entre les grandeurs de la MADA. Finalement l'interprétation des résultats obtenus montre clairement que le système suit parfaitement les valeurs de référence et, par conséquent, fournit une bonne performance statique et dynamique de la machine étudiée.

NOMENCLATURE

paramètre	description
I_{sd}, I_{sq}, I_{rd} et I_{rq}	courants statoriques et rotoriques dans le repère diphasé (d,q)
$\phi_{sd}, \phi_{sq}, \phi_{rd}$ et ϕ_{rd}	flux statoriques et rotoriques dans le repère diphasé (d,q).
R_s, R_r	Résistances statoriques et rotoriques
L_s, L_r	Coefficient d'inductance cyclique propre statorique et rotorique
M_{sr}	inductance cyclique mutuelle stator – rotor
P	Nombre de paires de pôles de la machine
ω_r	Vitesse angulaire (pulsation) électrique du rotor
C_r	Couple résistant
C_{em}	Couple électromagnétique
Ω	Vitesse de rotation de la machine
J	moment d'inertie
f	coefficient de frottement visqueux
σ	coefficient de dispersion

Tableau. 2 : Nomenclature des paramètres utilisés.

CHOIX DE LA MADA

Variable	Symbole	Valeur (unité)
Nombre de paires de pôles	p	2
Inductance cyclique statorique	L_s	0.295 H
Inductance cyclique rotorique	L_r	0.104 H
Maximum de la mutuelle inductance	M_{sr}	0.165 H
Résistance statorique	R_s	1.75 Ω
Résistance rotorique	R_r	1.68 Ω
Coefficient de frottements fluides	f	0.0027 Kg.m ² /s
Inertie totale	J	0.01 Kg.m ²

Tableau. 3 : Valeurs des paramètres de simulation.

REFERENCES

- [1] P.E. Vidal : " Commande non-linéaire d'une machine asynchrone à double alimentation ", Thèse de doctorat en Génie Electrique, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 2004.
- [2] R.Babouri, D.Aouzellag, K.Ghedamsi, " Introduction of Doubly Fed Induction Machine in an Electric Vehicle ", Energy Procedia 36 (2013) 1076 – 1084.
- [3] N.Ben Si Ali, " Contribution A L'amélioration Des Performances Statiques Et Dynamiques D'un Moteur Asynchrone Alimenté Par Un Convertisseur De Frequence", Thèse de Doctorat L'UNIVERSITE DE Badji Mokhtar Annaba, Algerie,2002.
- [4] A.Fenni, " Commande Non Linéaire Par Des Régulateurs En Mode Glissant D'une Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA) ", Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra,2013.
- [5] A. Ourici: " Double flux orientation control for a doubly fed induction machin ",Electrical Power and Energy Systems 43 (2012) 617–620.
- [6] M.Taoussi, M.Karim, B.Bossoufi, A.Lagrioui, M.El Mahfoud, " The Fuzzy Control for Rotor Flux Orientation of the double-fed asynchronous generator Drive", International Journal of Computers & Technology, Mai 2013.
- [7] M. Allam, B. Dehiba, M. Abid, Y. Djeriri,R. Adjoudj, " Etude comparative entre la commande vectorielle directe et indirecte de la Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA) dédiée à une application éolienne ", Journal of Advanced Research in Science and Technology, 1(2), 88-100, Algerie , 2014
- [8] Z.L. Boudjema : " Commande Vectorielle sans Capteur de vitesse de la Machine Asynchrone a Double Alimentation par Regulateur Pi-Flou ", Thèse de doctorat en Electrotechnique, Ecole Normale Supérieure De L'enseignement Technologique D'oran, Algerie,2009.

COMMANDE OPTIMALE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE PAR ALGORITHME DE COLONIE D'ABEILLES ARTIFICIELLE ET LA TECHNIQUE BACKSTEAPING.

H. SALMI¹, A. BADRI¹, M. ZEGRARI², A. BALLOUK¹, A. BAGHDAD¹

1- Laboratoire d'Electronique, Energie, Automatique & Traitement de l'Information Faculté des Sciences et Techniques - Mohammedia Université Hassan II Casablanca

2- Laboratoire d'Ingénierie des Structures, Systèmes Intelligents et Energie Electrique- ENSAM- CASABLANCA

salmi.hassan91@gmail.com, abdelmajid_badri@yahoo.fr, mourad_zegrari@yahoo.com

Adresse : B.P. 146 Mohammedia 20650 Maroc

Résumé— Ce papier présente une commande non linéaire d'une chaîne photovoltaïque connecté au réseau monophasé. Le système étudié comporte un module photovoltaïque, hacheur (DC/DC), convertisseur (DC/AC) et un filtre LCL.

Dans ce travail on cherche à atteindre les point suivants : i) Extraire la puissance maximale du panneau photovoltaïque (MPPT), ii) réguler le bus de tension continu ainsi délivrer la puissance au réseau avec un facteur de puissance unitaire.

Pour atteindre ces objectifs, on utilise comme outil de conception mathématique une méthode non linéaire combinant la technique de colonie des abeilles (ABC) et le BACKSTEAPING basé sur l'approche de Lyapunov pour l'analyse de la stabilité.

L'environnement Matlab-Simulink est utilisé pour analyser, puis interpréter les résultats de simulation de ces algorithmes.

Mot Clé— Système photovoltaïque, technique BACKSTEAPING, Lyapunov, technique ABC.

I- Introduction :

Aujourd'hui, l'énergie solaire, une des sources d'énergies renouvelables, joue de plus en plus un rôle très important à la satisfaction de la demande croissante de l'électricité.

Dans un système solaire, deux facteurs doivent être complètement examinés. D'une part l'impact du rayonnement solaire et la température, et d'autre part l'effet des convertisseurs électroniques, contrôleurs, et les charges du système photovoltaïques étudiées. Il est clair que les paramètres météorologiques sont hors du contrôle de l'utilisateur, par conséquent, les convertisseurs d'électronique de puissance doivent être désignée et contrôlé pour maximiser l'efficacité globale du système photovoltaïque.

D'après [1] [6], les systèmes photovoltaïques ont deux modes de fonctionnement, système autonome et système connecté au réseau électrique. Le système autonome utilise des batteries pour le stockage et son fonctionnement est indépendant du réseau électrique. De l'autre côté, le système photovoltaïque connecté au réseau de distribution est utilisé pour délivrer la puissance produite au réseau électrique.

Selon [4] [7], les principaux problèmes du contrôle d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique peuvent être classifiés en deux types :

- Comment intégrer plusieurs systèmes photovoltaïques au réseau électrique pour avoir une puissance unifié de qualité élevée.
- Comment contrôler un système photovoltaïque connecté au réseau indépendamment afin d'injecter le maximum de puissance.

Ce papier traite le deuxième problème et offre une nouvelle technique basé sur une combinaison des deux commandes (BACKSTEAPING et l'algorithme de colonie des abeilles).

En effet, il existe déjà plusieurs travaux [2] [7] qui traitent ce deuxième problème, cependant, les techniques proposés dans ces études manquent de vision globale pour un système de contrôle total tel que :

- i) Contrôler le convertisseur DC/DC pour forcer le système photovoltaïque à fonctionner au point maximal.
- ii) Délivrer la puissance au réseau électrique via l'onduleur avec un facteur de puissance unitaire.

Ce papier propose une technique pour contrôler le système photovoltaïque connecté au réseau électrique, dans laquelle la technique basée sur l'algorithme des abeilles et l'approche BACKSTEAPING sont utilisé pour atteindre les deux objectifs i) et ii).

II- Système photovoltaïque :

La figure ci-dessous présente la configuration du système photovoltaïque connecté à un réseau monophasé, ce système comporte un générateur photovoltaïque, convertisseur survolteur DC-DC utilisé pour extraire la puissance maximale du panneau photovoltaïque et alimenter la partie continue de l'onduleur. La dernière partie fournit l'énergie au réseau électrique. Le filtre LCL est utilisé en vue de réduire les harmoniques.

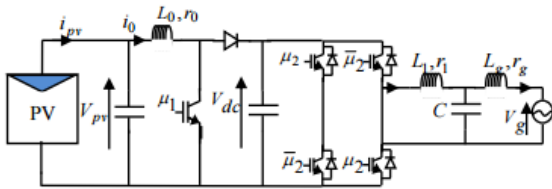


Figure 1 : module photovoltaïque connecté au réseau monophasé

Un générateur photovoltaïque comporte un certain nombre de modules photovoltaïques qui sont connectés en série et en parallèle [8]. La puissance générée par le générateur photovoltaïque est la combinaison de la puissance dérivée à partir de chaque module PV.

La cellule photovoltaïque est une jonction PN qui transforme le rayonnement solaire en énergie électrique. Lorsque cette jonction soumise à la lumière, il peut être schématisée par un générateur de courant en parallèle avec une diode. Le circuit équivalent est présenté dans la figure. 2.

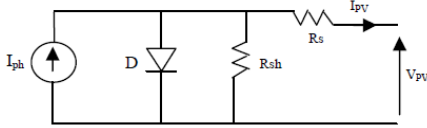


Figure 2 : Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque se compose de n_p modules parallèles y compris n_s série de cellules photovoltaïques reliées. Les équations fondamentales pour le panneau photovoltaïque sont :

$$I_{pv} = n_p I_{ph} - n_p I_s \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{n_s V_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$I_s = I_r \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 \exp\left(\frac{qE_g}{kqA} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (2)$$

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_T(T - T_r)] \frac{G}{1000} \quad (3)$$

I_p	Courant de sortie	I_r	Courant de saturation à T_r
V_{pv}	Tension de sortie	T_r	Température de référence
I_{ph}	Courant de	K_i	Coefficient de courant/température
q	La charge de l'électron	E_g	Energie de gap
K	Constante de Boltzman	A	Facteur d'idéalité

En utilisant les équations du modèle de cellules photovoltaïques données précédemment, la courbe de la puissance-tension (P-V) et courant-tension (I-V) pour différentes valeurs de rayonnement et de température peuvent être tracées. La figue. 3 et Figure. 4 montre les caractéristique P_V et I_V d'un panneau photovoltaïque sous une température constante.

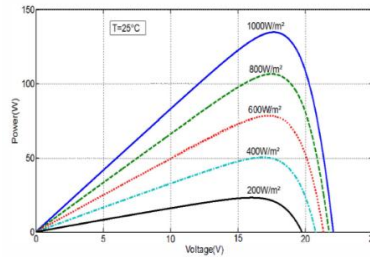


Figure 3 : La caractéristique de P-V pour une température constante de $T = 25^\circ\text{C}$.

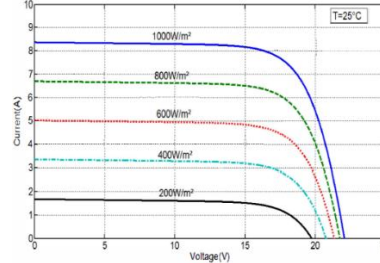


Figure 4 : La caractéristique de I-V pour une température constante de $T = 25^\circ\text{C}$.

III- Commande MPPT

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est une commande essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau PV.

III-a Algorithme Perturber et Observer (P&O) :

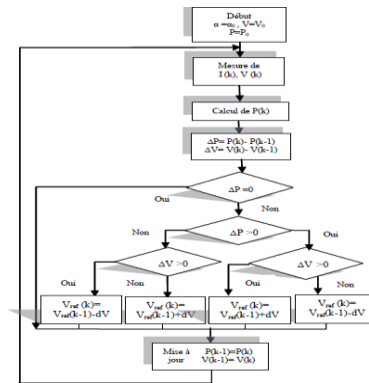


Figure 5 : Organigramme de l'algorithme P&O

Le principe de cet algorithme est d'effectuer une perturbation sur la tension du panneau PV tout en agissant sur le rapport cyclique α . En effet, suite à cette perturbation, on calcule la puissance fournie par le panneau PV à l'instant k , puis on la compare à la précédente de l'instant $(k-1)$. Si la puissance augmente, on s'approche du point à maximum de puissance (PMP) et la variation du rapport cyclique est maintenue dans le même sens. Au contraire, si la puissance diminue, on s'éloigne du PMP. Alors, on doit inverser le sens de la variation du rapport cyclique [8].

III-b Algorithme de colonies des abeilles :

A. Principe de l'algorithme d'optimisation ABC

Dans l'algorithme ABC, les abeilles artificielles sont classées en trois groupes : les abeilles employées, onlooker bees et scouts. Une abeille qui est actuellement à la recherche de nourriture ou d'exploiter une source de nourriture est appelé un employé. Une abeille dans la ruche en attente pour la prise de décision et de choisir une source de nourriture est nommé comme des abeilles Onlooker. Les abeilles employées dont la source nourriture ne peut être améliorée après un certain nombre prédéterminé d'essais deviennent scouts et leurs sources de nourriture sont abandonnées. Le nombre de sources de nourriture est égal au nombre d'abeilles employées et aussi égal au nombre d'abeilles Scouts.

De façon analogue, dans le contexte d'optimisation, la position d'une source de nourriture représente un candidat de solution du problème d'optimisation et la quantité du nectar d'une source de nourriture correspond à la qualité (fitness) de la solution associée.

Initialisation :

Lors de la phase d'initialisation, l'ABC génère une population initiale de solutions distribuées de façon aléatoire. Chaque solution est produite à l'intérieur de ses limites conformément à l'équation ci-dessous :

$$X_i^j = X_{\min}^j + \text{rand}[0,1] * (X_{\max}^j - X_{\min}^j) \quad (4)$$

$i=1,2,\dots,SN$ $J=1,2,\dots,D$

Avec X_{\min}^j et X_{\max}^j représentent respectivement la valeur minimale et maximale du paramètre j , D est le nombre des paramètres à optimiser et SN représente le nombre de solutions.

Sélection :

Après l'initialisation, la population des solutions est soumise à des cycles répétés $C=1,2,\dots,MCN$ du processus de recherche des abeilles employées, Onlooker bees et les scouts.

Pour chaque cycle, chaque abeille employée produit une nouvelle solution V_{ij} selon l'équation (5) et évalue alors sa qualité.

$$V_{ij} = X_i^j + \phi_{ij} * (X_i^j - X_K^j) \quad (5)$$

Où $K \in \{1, 2, \dots, SN\}$ et $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ sont choisis aléatoirement avec k doit être différent de i et $\phi_{ij} \in [-1,1]$.

Après que l'information soit partagée par les abeilles employées, chaque Onlooker trouve une nouvelle solution V_{ij} au voisinage de X_i^j en utilisant l'équation (6) basée sur la probabilité :

$$P_i = \frac{Fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} Fit_n} \quad (6)$$

Où Fit_i est la qualité de la solution X_i^j .

Chaque nouvelle solution V_{ij} est comparée avec son ancien. Si la nouvelle solution a une qualité égale ou meilleure que l'ancienne solution, elle la remplace dans la mémoire. Dans le cas contraire, l'ancienne est conservée. En d'autres termes, un

mécanisme de sélection est employé dans l'opération de sélection entre l'ancienne et la nouvelle.

À la fin de chaque cycle de recherche, si la qualité d'une solution ne peut pas être améliorée et le nombre prédéterminé d'essais, qui est appelé «limite», est épuisé, alors la solution sera rejeté (abeille scout) et une nouvelle solution est recherché au hasard. La nouvelle solution sera générée en utilisant l'équation (4).

Il est clair, d'après l'explication ci-dessus, qu'il y a trois paramètres de contrôle dans l'ABC de base : Le nombre de solutions de candidats est égal au nombre d'abeilles employée et onlooker, la valeur de «limite» et le nombre de cycle maximum MCN.

B. Application de l'algorithme au contrôle MPPT :

Pour réaliser le contrôle direct MPPT basée sur ABC, chaque solution est définit comme le rapport cyclique d du convertisseur DC-DC.

Les équations 4 et 5 deviennent :

$$\bullet \quad d_i = d_{\min} + \text{rand}[0,1](d_{\max} - d_{\min}). \quad (7)$$

$$\bullet \quad \text{Nouveau-}d_i = d_i + \phi_i(d_i - d_j). \quad (8)$$

La qualité de chaque solution est choisie après la génération de la puissance : $P_i = \frac{P_{pvt}}{\sum_{i=1}^{SN} P_{pvt}}$ (9)

À la fin de chaque cycle de recherche, l'algorithme mémorise la meilleure solution et répète la procédure de la phase des abeilles employées jusqu'à ce que le nombre de cycle maximum (MCN) atteint ou jusqu'à ce que la valeur de puissance reste inchangée dans un nombre spécifié de cycles.

Habituellement, l'environnement réel du système PV est toujours en train de changer en raison des conditions météorologiques variables, et en conséquence, le MPP est toujours en évolution. A cet effet, le processus de recherche doit redémarrer avec une réinitialisation totale lorsque les conditions météorologiques sont changées. Ici, nous utilisons la stratégie suivante pour détecter ces changements :

$$\frac{P_{pv}(\text{nouvelle}) - P_{pv}(\text{dernière})}{P_{pv}(\text{nouvelle})} \geq \Delta P \quad (10)$$

IV- Modélisation de l'onduleur et le filtre :

Un onduleur en pont monophasé connecté au réseau électrique est structuré comme suit (figure ci-dessous) :

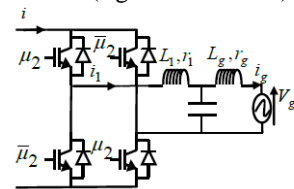


Figure 6 : Onduleur en pont et filtre connectés au réseau monophasé.

Dans un onduleur en pont, les interrupteurs sont soit de types IGBT ou bien MOSFET. Dans la partie AC l'onduleur est connecté au réseau électrique via un filtre.

Appliquons les lois de Kirchhoff's au dernier circuit on aura :

$$L_1 \frac{di_1}{dt} = \mu_2 V_{dc} - V_c - r_1 i_1$$

$$L_g \frac{di_g}{dt} = V_c - V_g - r_g i_g$$

$$C \frac{dvc}{dt} = i_1 - i_g$$

Avec $i = \mu_2 * i$ et $i_{k1} = \frac{1+\mu_2}{2} * i_1$ et $i_{k2} = \frac{\mu_2-1}{2} * i_1$

La fonction de commutation de l'onduleur est défini comme suit :

$$\mu_2 = \begin{cases} 1 & \text{si (S1 et S2) fermés et (S3, S4) ouvertes} \\ -1 & \text{si (S3, S4) fermés et (S1 et S2) ouvertes} \end{cases}$$

Le model moyen obtenu :

$$L_g \dot{x}_1 = x_2 - V_g - r_g x_1 \quad (11)$$

$$C \dot{x}_2 = x_3 - x_1 \quad (12)$$

$$L_1 \dot{x}_3 = u_2 x_6 - x_2 - r_1 x_3 \quad (13)$$

Avec x_1, x_2, x_3 et u_2 sont les valeurs moyennes des signaux i_1, i_g, V_g et μ_2 .

Les valeurs de μ_2 et u_2 dans le system (11-13) définit la commande du système.

4-1 La technique BACKSTEAPING appliqué aux onduleurs :

L'objectif de cette partie est désigné un contrôleur qui assure :

- i) Stabilité globale su système (approche Lyapunov).
- ii) Facteur de puissance unitaire (PFC)
- iii) Régulation de la tension cotée continu.

- *Régulateur PFC :*

L'objectif du Régulateur PFC est d'assurer un courant i_g sinusoïdal est en phase avec la tension du réseau.

Pour obtenir une bonne correction du facteur de puissance, il faut implanter un régulateur qui impose au courant x_1 de suivre une référence donné de la forme $\bar{x}_1 = \beta v_g$ ou β est un signal réel à définir.

Suite à l'approche BACKSTEAPING, un régulateur est conçu en trois étapes basant sur le système (11-13).

- Etape 1 :

On introduit l'erreur du courant :

$$Z_1 = L_g(x_1 - \bar{x}_1) \quad (a)$$

\bar{x}_1 désigne le signal de référence. En utilisant (11), la dérivée de z_1 correspond à l'erreur dynamique :

$$\dot{z}_1 = x_2 - V_g - r_g x_1 - L_g \dot{\bar{x}}_1 \quad (14)$$

Considérons le candidat de la fonction lyapunov :

$$V_1 = 0.5 * z_1^2$$

Son dérivée est : $\dot{V}_1 = \dot{z}_1 z_1$. (b)

Le choix $\dot{z}_1 = -c_1 z_1$ conduit à $\dot{V}_1 = -c_1 z_1^2$ ce qui rend le système asymptotiquement stable (c_1 est un paramètre positive).

En utilisant $\dot{z}_1 = -c_1 z_1$ et l'équation (14) on obtient :

$$x_2 - V_g - r_g x_1 - L_g \dot{\bar{x}}_1 = -c_1 z_1.$$

Dans l'équation précédente, si on choisit x_2 comme commande virtuel ($x_2 = \bar{x}_2$), nous obtenons la fonction de stabilisation suivante :

$$\bar{x}_2 = -c_1 z_1 + V_g + r_g x_1 + L_g \dot{\bar{x}}_1 \quad (15)$$

Puisque \bar{x}_2 n'est pas la commande actuelle, un nouveau variable d'erreur z_2 , entre la commande virtuelle et celle désirée :

$$z_2 = C(x_2 - \bar{x}_2) \quad (16)$$

En utilisant l'équation (15) et (16), les équations (a) et (b) deviennent :

$$\dot{z}_1 = \frac{z_2}{c} - c_1 z_1$$

$$\dot{V}_1 = \frac{z_1 z_2}{c} - c_1 z_1^2$$

- Etape 2

De la même manière que l'étape 1, en utilisant l'équation (12) nous obtenons :

$$\dot{z}_2 = \frac{-z_1}{c} - c_2 z_2 + \frac{z_3}{L_1}$$

$$\dot{V}_2 = \frac{z_2 z_3}{L_1} - c_2 z_2^2 - c_1 z_1^2$$

$$z_3 = L_1(x_3 - \bar{x}_3). \quad (c)$$

- Etape 3

L'objectif de cet étape est d'annuler les erreurs dynamique (z_1, z_2, z_3)

Premièrement, on introduit la dynamique du variable z_3 . Pour ceci, on dérive l'équation (c) et on utilise (13) :

$$\dot{z}_3 = u_2 x_6 - x_2 - r_1 x_3 - L_1 \dot{\bar{x}}_3 \quad (d)$$

On considère le candidat de la fonction lyapunov :

$$V_3 = V_2 + \frac{1}{2} z_3^2$$

La dérivée de V_3 donne :

$$\dot{V}_3 = z_3 \frac{z_2 + z_3}{L_1} - c_2 z_2^2 - c_1 z_1^2$$

Notre objectif est d'avoir une valeur négative du variable V_3 avec le choix suivant :

$$\dot{z}_3 + \frac{z_3}{L_1} = -c_3 z_3 \quad (e)$$

Avec c_3 est un paramètre positive. La dynamique de la fonction de lyapunov est réduite à :

$$\dot{V}_3 = -c_2 z_2^2 - c_1 z_1^2 - c_3 z_3^2$$

Combinons (d) et (d), nous obtenons la loi de commande suivant :

$$u_2 = \frac{1}{x_6} \left(\frac{-z_2}{L_1} - c_3 z_3 + L_1 \dot{\bar{x}}_3 + x_2 + r_1 x_3 \right)$$

Finalement, le système en boucle fermé de coordonnées (z_1, z_2, z_3) est décrit par le système linéaire suivant :

$$\begin{pmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -c_1 & \frac{1}{c} & 0 \\ -\frac{1}{c} & -c_2 & \frac{1}{L_1} \\ 0 & \frac{-1}{L_1} & -c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{pmatrix}$$

V- Résultats et Discussion :

Dans cette partie, on compare les performances de P&O et INC avec celle de l'algorithme ABC.

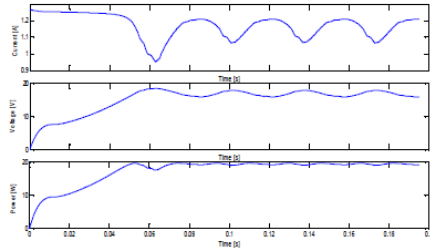


Figure 7 : Evolution du Courant-Tension-Puissance pour le cas de l'algorithme Perturb & Observe

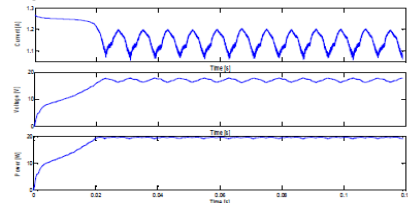


Figure 8 : Evolution du Courant-Tension-Puissance pour le cas de l'algorithme Incrémentation de la conductance

Nous observons que les deux algorithmes oscillent autour de la puissance maximale dans le régime statique.

- **La technique ABC**

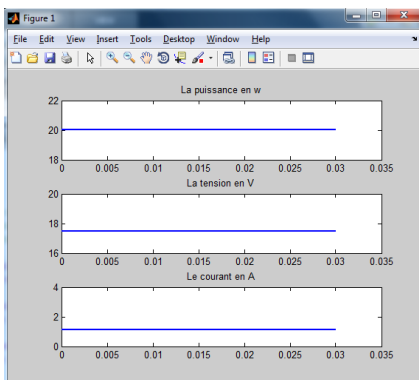


Figure 9 : Evolution du Courant-Tension-Puissance pour le cas de l'algorithme ABC

Nous constatons clairement que l'algorithme basé sur la technique ABC converge rapidement (temps de réponse est de 0.002s, tandis que celle du P&O est de 0.05s) ainsi il n'oscille pas autour du point de puissance maximale dans le régime statique.

Lors d'un changement de température ou d'irradiation, l'algorithme ABC se réinitialise (nous contrôlons la fluctuation des conditions météorologique par équation (10) puis converge

vers la nouvelle puissance maximale ce qui rend notre algorithme plus robuste.

VI- Conclusion :

Dans ce travail, nous avons développé l'algorithme ABC pour suivre la puissance maximale. Nous avons clairement constaté à l'aide de la simulation d'un système photovoltaïque que la technique ABC est plus robuste (lors d'un changement climatique) et fournit de bons résultats. En outre, l'algorithme proposé ne nécessite que deux paramètres de commande et sa convergence ne dépend pas de l'état initial, ainsi il ne nécessite pas la connaissance des caractéristiques du générateur photovoltaïque.

Pour la commande des onduleurs on a pu exploiter l'approche BACKSTEAPING basé sur l'approche LYAPUNOV pour concevoir une loi de commande robuste afin de produire un courant sinusoïdal en phase avec la tension du réseau électrique.

Remerciement :

Ce travail est réalisé dans le cadre du projet " Mini central" entre le centre de recherche SISA et notre université. Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à l'Université Hassan II de Casablanca pour le financement de ce projet.

Bibliographies:

- [1] Bader N. Alajmi, Khaled H. Ahmed, Stephen J. Finney, B. W. Williams, "Fuzzy-Logic Control Approach of a Modified Hill-Climbing Method for Maximum Power Point in Microgrid Standalone PV System", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 26, No. 4, pp. 1022-1030, 2011.
- [2] T. L. Kottas, Y. S. Boutalis, and A. D. Karlis, "New maximum power point tracker for PV arrays using fuzzy controller in close cooperation with fuzzy cognitive networks", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 21, No. 3, pp. 793–803, September 2006.
- [3] Jiyong Li and Honghua Wang, "Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Generation Based on the Fuzzy Control Method", Proceedings of SUPERGEN'09, pp. 1-6, 6-7 April 2009.
- [4] D. Menniti, A. Pinnarelli, G. Brusco, "Implementation of a novel fuzzylogic based MPPT for grid-connected photovoltaic generation system", Proceedings of Trondheim PowerTech 2011, pp. 1–7, 19-23 June 2011.
- [5] Bo Yang, Wuhua Li, Yi Zhao and XiangningHe, "Design and Analysis of a Grid-Connected Photovoltaic Power System", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 25, No. 4, pp. 992-1000, April 2010.
- [6] W. Rong-Jong and W. Wen-Hung, "Grid-connected photovoltaic generation system", IEEE Transactions on Circuits System I: Regular Papers, Vol. 55, No.3, pp. 953–964, April 2008.
- [7] Y. A. Mahmoud, X. Weidong, and H. H. Zeineldin, "A parameterization approach for enhancing PV model accuracy," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, no. 12, pp. 5708–5716, Dec. 2013.
- [8] Ali Chermitti, Omar Boukli-Hacene, Samir Mouhadjer, —Design of a Library of Components for Autonomous Photovoltaic System under Matlab/Simulink", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 53– No.14, September 2012

Amélioration des performances électriques en régime statique du Transistor Bipolaire à Hétérojonction à base d'InP

J.OUCHRIF, A.BAGHDAD, A.SAHEL, A.BADRI, A.BALLOUK

Laboratoire d'Electronique, Energie, Automatique et Traitement de l'information, Département Génie Electrique, Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, Université Hassan II, B.P. 146, 20650, Mohammedia, Morocco
ouchrif.jihane1@gmail.com; nasser_baghdad@yahoo.fr; sahel_ai@yahoo.fr;
abdelmajid_badri@yahoo.fr; balloukhakim@gmail.com

Résumé — Les Transistors Bipolaires à Hétérojonction (HBTs) possèdent d'excellentes caractéristiques qui les rendent importants pour les applications dans les systèmes de télécommunications micro-ondes. Le travail présenté dans cet article a pour objectif d'optimiser et d'améliorer les performances du composant HBT InP/InGaAs. Pour cela, nous nous sommes basés sur le simulateur TCAD (Technology Computer Aided-Design) qui permet la simulation du comportement physique et électrique des composants électroniques.

Initialement, nous avons travaillé avec l'outil interactif DECKBUILD pour définir le programme de simulation et le module DEVEDIT pour le dessin de la structure selon ses caractéristiques technologiques (dimension, dopage, maillage...), et aussi le simulateur ATLAS pour réaliser les caractéristiques électriques du composant semi-conducteur HBT. Ensuite, nous avons défini une topologie appropriée prenant en compte des modèles physiques tels que SRH, BBT.STD,... Ensuite, nous avons investigué l'impact du dopage de la base et du dopage du collecteur du HBT sur les performances du composant et notamment en termes des paramètres caractéristiques du composant, tel que le gain en courant statique. Finalement, Les résultats obtenus nous ont permis de définir une structure optimale du composant adaptée pour la montée très haut en fréquence dans le domaine micro-onde.

Mots Clés — HBT, Télécommunications, Micro-ondes, TCAD, DECKBUILD, DEVEDIT, ATLAS, SRH, BBT.STD.

I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, les technologies de communication et de l'information ont connu un rapide essor grâce à l'utilisation des composants semi-conducteurs ultrarapides et à faible niveau de bruit. En effet, les matériaux semi-conducteurs III-V sont distingués par leurs propriétés de transport électronique, car ils présentent une haute mobilité électronique et une bande interdite directe. En outre, Ces matériaux s'utilisent de plus en plus pour la fabrication des dispositifs électroniques, en raison de leurs excellentes caractéristiques de vitesse qui permettent le fonctionnement de ces dispositifs à de très hautes fréquences [1]. Dans ce sens, les Transistors Bipolaires à Hétérojonction (HBTs) à base des matériaux semi-conducteurs InP et InGaAs sont des candidats prometteurs pour les applications à haute

fréquence [3]. La performance de la fréquence élevée des Transistors Bipolaires à Hétérojonction à base d'InP est principalement due à la faible largeur de la bande interdite de l'InGaAs utilisée dans la couche de la base, qui a une grande mobilité d'électrons, qui résulte des délais de transit très courts pour les électrons traversant la base [3].

Dans ce travail, il s'agit de l'amélioration des performances en termes de gain en courant statique du Transistor Bipolaire à Hétérojonction (HBT) composé à base des matériaux semi-conducteurs, un alliage binaire InP et d'un alliage ternaire InGaAs.

Dans la fabrication de ce composant HBT, la technique Épitaxie par Jet Moléculaire (MBE) est utilisée pour la croissance des couches épitaxiales sur un substrat InP semi-isolant.

II. MODELISATION DU HBT

Afin de réaliser la structure du composant semi-conducteur HBT de référence [3] [5] avec une surface d'émetteur égale à $5 \times 5 \mu\text{m}^2$, nous nous sommes basés sur les valeurs illustrées dans le tableau n°I qui contient les caractéristiques de la structure épitaxiale du HBT telles que les matériaux semi-conducteurs utilisés, les dopages et les épaisseurs des différentes couches. Ceci a été fait avec le module DevEDIT [7].

Tableau I. Structure Epitaxiale du HBT

Couche	Matériau	Dopage (cm^{-3})	Épaisseur (nm)
Cap	$\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$	$n = 1 \times 10^{19}$	135
Émetteur 1	$\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$	$n = 1 \times 10^{17}$	135
Émetteur 2	InP	$n = 1 \times 10^{17}$	40
Spacer	$\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$	-	5
Base	$\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$	$p = 1.5 \times 10^{19}$	65
Collecteur	$\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$	$n = 1 \times 10^{16}$	630
Sous-collecteur	$\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$	$n = 1 \times 10^{19}$	500
Buffer	$\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$	-	10
Substrat	Semi-isolant InP		

Après la définition des caractéristiques du HBT en respectant les données du tableau n°I, la structure été visualisée sous Tonyplot, elle est illustrée dans la figure n°1.

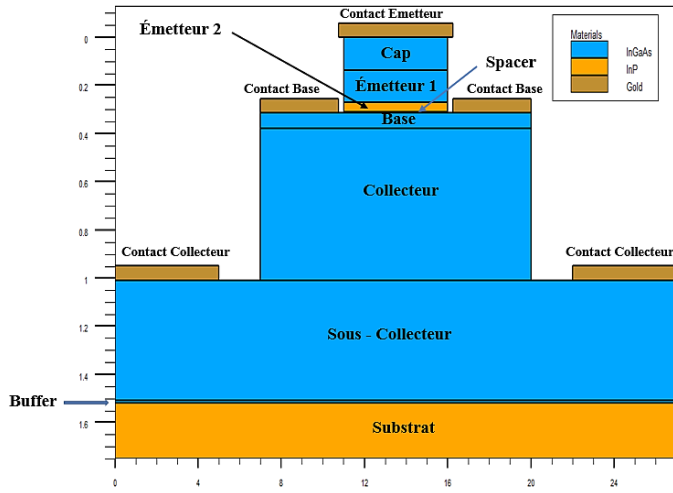


Fig. 1. Structure du HBT InP/InGaAs

Pour bien définir les paramètres des matériaux III-V, nous nous sommes basés dans ce travail sur l'article [2] [4] [5] pour les valeurs des paramètres cités dans le tableau n°II et n°III.

Dans le programme de la simulation du composant semi-conducteur HBT, et pour se rapprocher de l'effet du dopage sur la mobilité des électrons et des trous dans le matériau, nous nous sommes basés sur la mobilité de Caughey et Thomas [5]. En effet, La mobilité effective des électrons et des trous dans chaque région est définie par l'équation suivante :

$$\mu = \mu_{min} \left(\frac{T_L}{300} \right)^\beta + \frac{\mu_{max} \left(\frac{T_L}{300} \right)^\delta - \mu_{min} \left(\frac{T_L}{300} \right)^\beta}{1 + \left(\frac{T_L}{300} \right)^\gamma \left(\frac{N}{N_C} \right)^\alpha} \quad (1)$$

Avec : β , δ et γ sont des coefficients dépendant de la température, $T_L = 300$ K.

Le tableau n°II contient les paramètres des matériaux InP et InGaAs, le tableau n°III représente les paramètres qui ont été utilisé pour définir la mobilité des électrons et des trous dans chaque région du HBT.

Tableau II. Paramètres des matériaux du HBT

Paramètre	InP	In _{0.47} Ga _{0.53} As
Permittivité diélectrique	12.35	13.88
Énergie de gap (eV)	1.35	0.75
Affinité électronique (eV)	4.38	4.6
Masse effective de l'électron	0.08	0.041
Masse effective du trou	0.50	0.47
N_c (cm ⁻³)	6.4x10 ¹⁷	8.9x10 ¹⁶
N_v (cm ⁻³)	1x10 ¹⁹	1x10 ¹⁸
Vitesse de saturation des électrons (cm.s ⁻¹)	2.6 x10 ⁷	2.5 x 10 ⁷
Vitesse de saturation des trous (cm.s ⁻¹)	6.6 x 10 ⁶	4.9 x 10 ⁶

Tableau III. Paramètres de mobilité des électrons et des trous des matériaux InP et In_{0.47}Ga_{0.53}As

Electrons		
Paramètre	InP	In _{0.47} Ga _{0.53} As
μ_{max} (cm ² .V ⁻¹ .sec ⁻¹)	4917	11599
μ_{min} (cm ² .V ⁻¹ .sec ⁻¹)	300	3372
N_c (cm ⁻³)	6.4 x 10 ¹⁷	8.9 x 10 ¹⁶
α	0.46	0.76
Trous		
Paramètre	InP	In _{0.47} Ga _{0.53} As
μ_{max} (cm ² .V ⁻¹ .sec ⁻¹)	151	331
μ_{min} (cm ² .V ⁻¹ .sec ⁻¹)	20	75
N_v (cm ⁻³)	1 x 10 ¹⁹	1 x 10 ¹⁸
α	0.96	1.37

N_c est la densité effective d'états dans la bande de conduction, et N_v la densité effective d'états dans la bande de valence. μ_{max} et μ_{min} sont les mobilités maximales et minimales à des niveaux bas et élevés de dopage.

Le logiciel TCAD-SILVACO comporte des modèles physiques qui sont importants pour l'explication des phénomènes physiques qui se passent à l'intérieur des composants semi-conducteurs. Certains de ces modèles ont été inclus dans la simulation. Il s'agit du modèle statistique des porteurs (BGN), du modèle de recombinaison (SRH), du modèle Selberherr's de l'impact de l'ionisation (IMPACT SELB) et du modèle d'effet Tunnel (BBT.STD).

- **Modèle BGN (Bandgap Narrowing)** : Il est important dans les régions fortement dopées, et critique pour le gain bipolaire. Il utilise le modèle Klaassen.
- **Modèle SRH (Shockley-Read-Hall)** : Il utilise la durée de vie fixe des porteurs minoritaires. Il doit être utilisé dans la plupart des simulations.
- **Modèle Selberherr's (IMPACT SELB)** : Il est recommandé pour la plupart des cas. Il comprend les paramètres dépendant de la température.
- **Modèle Band-to-band (BBT.STD)** : Pour les transitions directes. Il est requis avec des champs très élevés.

III. RESULTAS ET DISCUSSIONS

Les figures ci-dessous présentent les résultats de la simulation avec le logiciel TCAD-Silvaco. Après que nous avons effectué une modélisation physique et numérique du HBT de référence, nous avons investigué l'impact du dopage de la base, et du dopage du collecteur sur le gain en courant statique du transistor HBT.

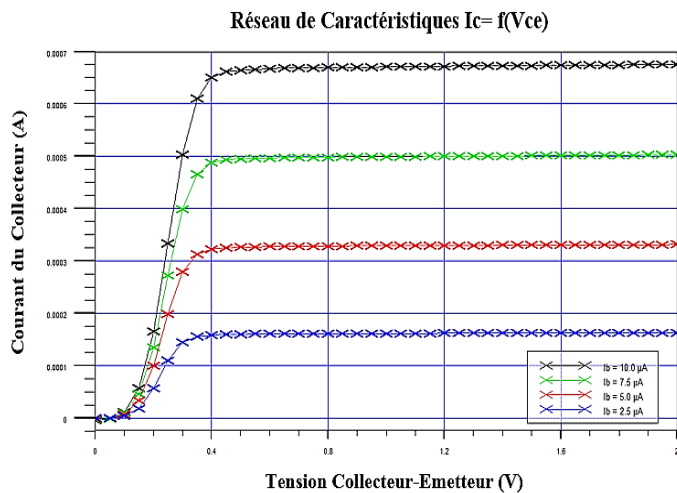


Fig. 2. Réseau des caractéristiques $I_c = f(V_{ce})$ à courant I_b constant

La figure 2 montre le résultat de simulation des caractéristiques I-V de sortie du Transistor Bipolaire à Hétérojonction. Pour chaque valeur de $I_b = 2.5 \mu A, 5 \mu A, 7.5 \mu A$ et $10 \mu A$, nous avons fait le tracé de I_c en fonction de V_{ce} . Nous observons que pour une tension V_{ce} qui varie de 0,4 à 2V, le courant I_c correspondant varie de 0,165 à 0.66 mA. De plus, nous constatons un décalage de la tension V_{ce} qui est de l'ordre de 100 mV, celui-ci est dû à la différence entre les tensions de la diode base-émetteur (hétérojonction) et la diode base-collecteur (homojonction), ce résultat est différent par rapport à ce que l'on observe habituellement sur les transistors bipolaires au silicium. Le gain en courant obtenu est de l'ordre de 66.

Dans le but de définir des paramètres technologiques optimaux, permettant l'obtention des gains en courant maximums, et la définition judicieuse d'une structure de composant HBT appropriée qui peut être destinée pour des applications microondes, nous avons investigué l'impact du dopage de la base et du dopage du collecteur sur le gain en courant. Nous avons considéré les paramètres de la structure de référence indiqués sur le tableau n°I.

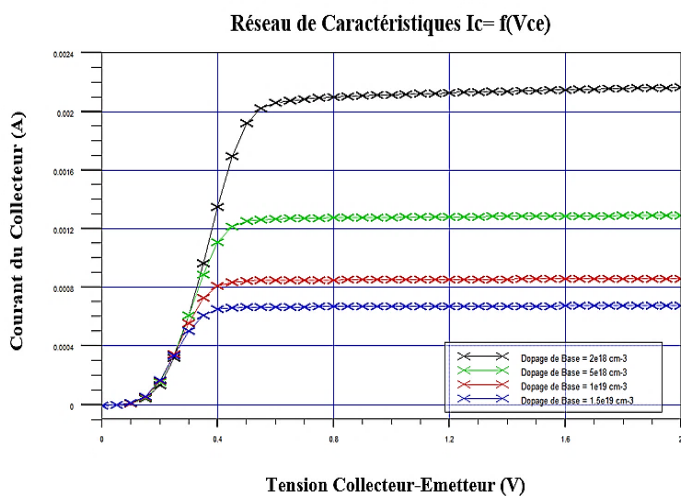


Fig. 3. Réseau de Caractéristiques $I_c = f(V_{ce})$ à courant $I_b = 10 \mu A$ pour différents dopages de la base

Selon la figure 3, on remarque que pour un courant de base I_b fixé à $10 \mu A$, le gain en courant augmente de façon générale avec la diminution du dopage de la base. C'est donc le dopage le plus bas parmi les dopages du Tableau n°IV qui est choisi égale à $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ qui donne le gain en courant le plus élevé de valeur égale à 212. On constate une nette amélioration par rapport au gain en courant obtenu avec la structure de référence qui est de 66. Soit une amélioration de 221%.

Tableau IV. Résultats de l'amélioration du gain en courant statique en fonction du dopage de la base

Dopage de la base (cm^{-3})	1×10^{19}	5×10^{18}	2×10^{18}
Amélioration du gain (%)	29	94	221

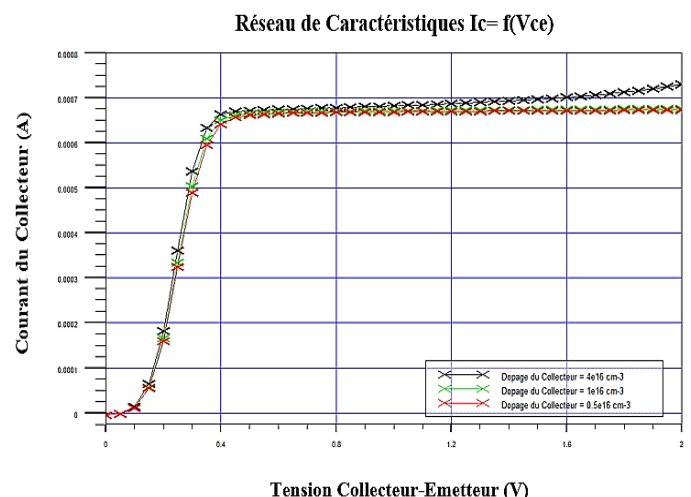


Fig. 4. Réseau de Caractéristiques $I_c = f(V_{ce})$ à courant $I_b = 10 \mu A$ pour différents dopages du Collecteur

Selon la figure 4, de façon générale, pour un courant de base I_b fixé à $10 \mu A$, plus on augmente la concentration du dopage du collecteur, plus le gain en courant statique augmente. Pour les valeurs prises pour le dopage du collecteur, on remarque bien que le dopage qui est égal à $4 \times 10^{16} cm^{-3}$ nous donne un gain élevé de valeur égale à 69. Une amélioration est constatée par rapport au gain en courant obtenu avec la structure de référence qui est de 66 pour $I_b = 10 \mu A$. Soit une amélioration de 4.5%.

Après la modélisation physique et numérique de la nouvelle structure améliorée, et en considérant les paramètres technologiques optimisés, en particulier le dopage de la base égale à $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ et le dopage du collecteur égal à $4 \times 10^{16} cm^{-3}$, nous avons obtenu un gain en courant statique meilleur que celui de la structure de référence.

La figure 5 représente le réseau de caractéristiques $I_c = f(V_{ce})$ à courant I_b égal à $10 \mu A$ avec un gain en courant estimé dans ce cas de l'ordre de 220. Soit une amélioration de 233%.

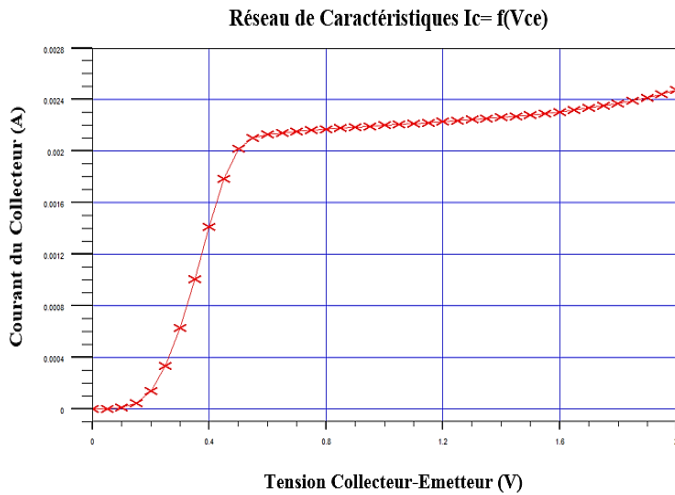


Fig. 5. Réseau de Caractéristiques $I_c = f(V_{ce})$ à courant $I_b = 10 \mu A$ pour la structure améliorée du HBT

IV. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons modélisé la structure du Transistor Bipolaire à Hétérojonction npn avec le logiciel TCAD-Silvaco. Pour meilleure prise en compte des mécanismes physiques, nous avons intégré les modèles physiques (SRH, BBT.STD....) dans nos simulations. Nous avons investigué l'impact du dopage de la base et du collecteur sur le gain en courant statique. Pour un dopage de base égal à $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, et un dopage du collecteur de valeur égale à $4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, nous avons pu constater une amélioration nette du gain en courant qui passe de 66 pour la structure de référence à 220 pour la structure améliorée à courant I_b constant. Soit une amélioration de 233%. Pour nos perspectives, nous envisageons l'investigation de l'impact des épaisseurs des couches épitaxiales sur le gain en courant statique et nous proposons d'étendre l'étude à une modification au niveau de la topologie du transistor pour espérer avoir un gain en courant statique le plus élevé possible à différentes applications.

REFERENCES

- [1] T Gonzalez Sanchez, J E Velazquez Pérez, P M Gutiérrez Conde and D Pardo Collantes, "Electron transport in InP under high electric field conditions", IOP science, pp.31-36, 1992.
- [2] Suman Datta, Shen Shi, Kenneth P. Roenker, Marc M. Cahay, and William E. Stanchina, "Simulation and Design of InAlAs/InGaAs pnp Heterojunction Bipolar Transistors", IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL.45, NO.8, pp.1634-1643, AUGUST 1998.
- [3] J. Sexton and M. Missous, "ANNEALING EXPERIMENTS ON INP/INGAAS SINGLE AND DOUBLE HBTs GROWN BY MOLECULAR BEAM EPITAXY", in Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications, 2002. EDMO 2002. The 10th IEEE International Symposium on, pp.300-305, 2002.
- [4] Joseph W. Parks, Arlynn W. Smith, Kevin F. Brennan, and Larry E. Tarof, "Theoretical Study of Device Sensitivity and Gain Saturation of separate Absorption, Grading, Charge, and Multiplication InP/InGaAs

Avalanche Photodiodes", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.43, No.12, pp.2113-2121, December 1996.

- [5] T. Tauqeer, J. Sexton, F. Amir and M. Missous, "Two-Dimensional Physical and Numerical Modelling of InP-based Heterojunction Bipolar Transistors", The 7th International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, pp.271-274, 12-16 Oct, 2008.
- [6] ATLAS User's Manual, DEVICE SIMULATION SOFTWARE, SILVACO INTERNATIONAL, September 3, 2010.
- [7] DevEdit User's Manual, SILVACO INTERNATIONAL, 2006.

Compromis gain-pertes dans les performances des filtres de Bragg à forte modulation d'indice

Abdelaziz Ouariach, kamal Ghoumid
Department of Electronics, Informatics and
Telecommunication, Ecole National des Science
Appliquées d'Oujda (ENSAO)
Oujda, Morocco
ouariach.abdelaziz@gmail.com

Abdelkrim Nougaoui
Department of Physics, University of Mohamed
Premier
Oujda, Morocco
a_nougaoui@yahoo.fr

Résumé— Dans le présent article nous expliquons le compromis gain-pertes en étudiant l'effet de la profondeur de gravure l sur la réflectivité R et les pertes liées aux filtres optiques à base de réseau de Bragg (BG). Cette étude a permis de démontrer qu'à partir d'une profondeur de modulation optimale la fonction de transfert souhaitée du filtre peut être la plus appropriée en termes de performances. Nous avons pu également calculer expérimentalement cette profondeur de gravure optimale sur plusieurs réalisations. Cela a permis de montrer qu'une fois que la réflectivité atteint sa valeur maximale, il est inutile de dépasser cette valeur de profondeur car cela n'améliore pas le gain de réflexion mais il n'augmente que les pertes liées au BG. Cet accroissement de pertes conduit à la dégradation de la qualité de la transmission en augmentant la probabilité d'erreur et en diminuant le débit binaire.

Keywords— *Reseau de Bragg; Gain/perte; Réflectivité; modulation d'indice ; Dégradation des performances .*

I. INTRODUCTION

Les hétérostructures périodiques ayant servi à la réalisation des cristaux photoniques et des métamatériaux, ont suscité un grand intérêt depuis plusieurs années du fait de leur capacité à contrôler la lumière sur de très courtes distances [1, 2]. Des variantes multiples sont attendues à partir de cette réalisation concernant en particulier les domaines de l'optoélectronique et des télécommunications.

Du point de vue des matériaux, il est important de noter que, jusqu'à présent, les cristaux photoniques ont été principalement réalisés dans des matériaux semiconducteurs et que très peu d'équipes à travers le monde ont réussi la transposition de ces procédés sur des cristaux diélectriques. Dans le cadre de cette transposition, nous avons opté pour l'utilisation d'un matériau qui n'a pas manqué de susciter l'intérêt des chercheurs par son importance et sa fiabilité pour les fonctions requises : c'est le niobate de lithium (LiNbO_3).

En effet, dans ce travail, nous avons souligné les différents enjeux provenant de l'utilisation de ce matériau (niobate de lithium) comme cristal avec un impact certes, très favorable en

pratique pour la photonique et pour les télécommunications optiques. La structuration d'un tel matériau constitue actuellement un sujet qui incite à de nombreuses recherches en raison du grand nombre de ses propriétés dont nous citons à titre d'exemple : non-linéarité, piézoélectricité, forts coefficients électro-optiques ou acousto-optiques etc...; très attractives pour l'optique intégrée. Au départ, ce sont surtout les structures ridges qui ont motivé les développements technologiques [3], car ces structures en crête, confinant latéralement le mode optique par une gravure du substrat de part et d'autre du guide (Fig.1), offrent de nombreux intérêts comme l'amélioration de l'effet électro-optique dans les modulateurs et dans d'autres dispositifs. Plus récemment encore, les Réseaux de Bragg réalisés à partir de cristaux photoniques 2D ont également fait l'objet de recherches plus fines sur le niobate de lithium en se portant à des échelles micrométriques et nanométriques [4]. Dans ce même sens, la fabrication et le perfectionnement de ces réseaux viennent d'acquiescer un intérêt particulier surtout pour des fonctions spécifiques comme la réalisation des filtres, des miroirs ou coupleurs à spectre étroits [5, 6, 7]. Bien que le sujet de filtrage soit abordé depuis plus d'une décennie, il est resté tout de même un enjeu d'actualité car le matériau est très résistant aux usinages traditionnels, et la réalisation de structures peu rugueuses à haut facteur de forme est toujours très difficile à obtenir. Parmi les réalisations les plus marquantes démontrées récemment, on peut citer la gravure humide suivie d'une diffusion pour lisser les flans [8], le faisceau ionique focalisé FIB (Focused Ion Beam) [9, 10], ou la gravure sèche précédée d'une préparation du cristal par exemple par échange protonique [11, 12].

Dans ce travail, nous avons proposé un modèle théorique basé sur la théorie de mode couplée adapté à l'approche de la matrice de transfert [13, 14, 15]. Ce modèle a porté sur l'influence des paramètres physiques et géométrique en particulier la profondeur de gravure l sur le coefficient de couplage K , la réflectivité R , et sur les pertes. En effet une

augmentation de la profondeur de gravure l conduit à une augmentation de coefficient de couplage de modes K et par conséquent la réflectivité R . Cette augmentation se fait au détriment sur les pertes qui augmente en fonction de la profondeur de gravure l , par conséquent une dégradation de performance de la structure (Fig.1) en particulier : la diminution de débit binaire et la portée, et l'augmentation de puissance d'entrée...etc.

II. DESCRIPTION DE MODELE

A. Principe

Sur la figure 1, nous avons schématisé la structure de base constituant le guide d'onde comme une répétition périodique de cellules élémentaires, formées d'une couche du matériau d'indice n_2 ($\text{LiNbO}_3 : \text{Ti}$) superposée à une couche d'air d'une même épaisseur et d'indice n_3 . Ce qui donne à ce réseau le caractère de modulation périodique d'indice différentielle $\Delta n = (n_2 - n_3)$. Les autres données de la structure sont : le matériau constituant de substrat est le LiNbO_3 d'indice de réfraction n_1 , l profondeur de gravure et $L = \Lambda * N$ la longueur totale de réseau de Bragg (où Λ est la période du réseau et N est le nombre de période).

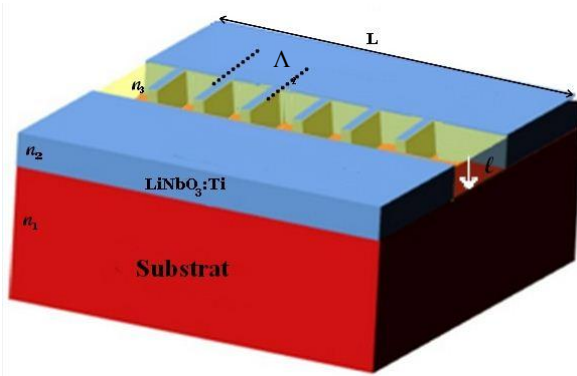


Figure. 1 : Schéma de base d'un réseau de Bragg gravé dans un guide $\text{LiNbO}_3 : \text{Ti}$

Il s'agit d'un guide en forme de réseau de Bragg qui fonctionne sur une bande de fréquence centrée autour de la longueur d'onde de Bragg λ_B [16] conformément à la relation :

$$2n_{\text{eff}}\Lambda = m\lambda_B \quad (1)$$

Où n_{eff} est l'indice effectif du mode de propagation, m est l'ordre de Bragg, Λ et λ_B sont définis avant.

B. Théorie

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à la détermination du coefficient de couplage K entre modes de propagation, qui est déjà cité dans la référence [17]. C'est un moyen qui nous permis d'aborder facilement l'étude de l'effet de profondeur de gravure l sur la réflectivité R . Pour cela,

nous nous sommes basés sur la résolution des équations de Maxwell adaptées à la théorie des modes couplés [13, 18, 19].

Nous rappelons l'expression de ce coefficient de couplage :

$$K = \frac{k_0^2(n_2^2 - n_3^2)}{2\pi m \beta N^2} \sin(m\pi \frac{w}{\Lambda}) \left\{ \begin{array}{l} l_2 + \frac{\sin(2l_2 h)}{2h} + \frac{q}{h^2} [1 - \cos(2l_2 h)] \\ + \frac{q^2}{h^2} [l_2 + \frac{\sin(2l_2 h)}{2h}] + \frac{1}{q} [1 - e^{-2ql}] \end{array} \right\} \quad (2)$$

With:

$$l_1 = \frac{w}{\Lambda} l \quad \text{And} \quad l_2 = (1 - \frac{w}{\Lambda}) l \quad (3)$$

And,

- l : la profondeur de gravure.
- m : L'ordre de Bragg.
- N : Nombre de période.

Dans le concept de la théorie des modes couplés, une des conditions qui doit être nécessairement satisfaite est que le produit du coefficient de couplage K par la longueur totale de perturbation L doit être de l'ordre de quelques unités [17, 20]. Pour étudier l'effet de profondeur de gravure l , des simulations ont été mises on œuvre pour tracer des courbes représentant le coefficient de couplage K en fonction de la profondeur de gravure l . A chaque valeur de m nous avons fait le tracé correspondant à côté de la courbe de réflectivité en fonction de cette même profondeur d'ondulation. Ces courbes sont représentées sur les figures 2 et 3.

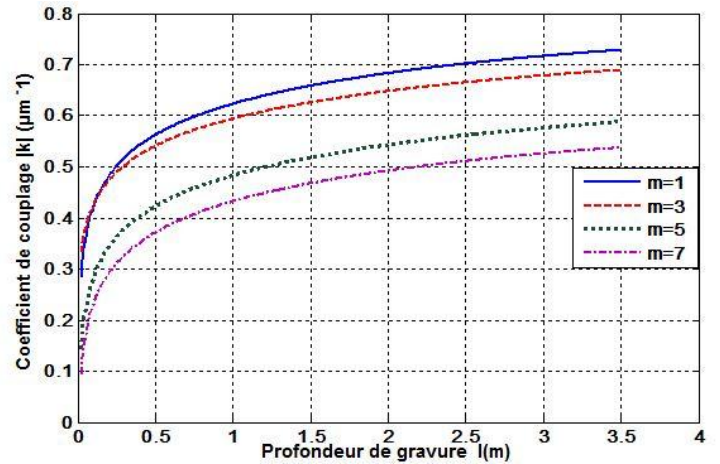


Figure. 2: Coefficient de couplage K en fonction de la profondeur d'ondulation l pour différentes valeurs d'ordre de Bragg m .

Il est clair que d'après l'équation (2), le coefficient de couplage dépend de la profondeur de gravure l , par conséquent de la Réflectivité R et de la largeur spectrale $\Delta\lambda$ [17].

Lors de l'examen de ces résultats présentés ci-dessus, il semble que l'augmentation du coefficient de couplage K induit une augmentation de la profondeur de gravure.

En ce qui concernant l'effet de la profondeur de gravure l sur la réflectivité R , il est clair qu'à partir de l'équation (2) et les résultats présentés sur les figures 2, 3 et 4, on peut dire que l'augmentation de produit $K \cdot L$ conduit nécessairement à l'obtention d'un facteur de Réflexion maximal (Transmission minimal). Cette augmentation peut être obtenue en augmentant la profondeur de gravure l . A partir de la Fig. 3 et 4 nous pouvons constater que : $R(l=1\mu\text{m}) < R(l=2\mu\text{m}) < R(l=3\mu\text{m})$.

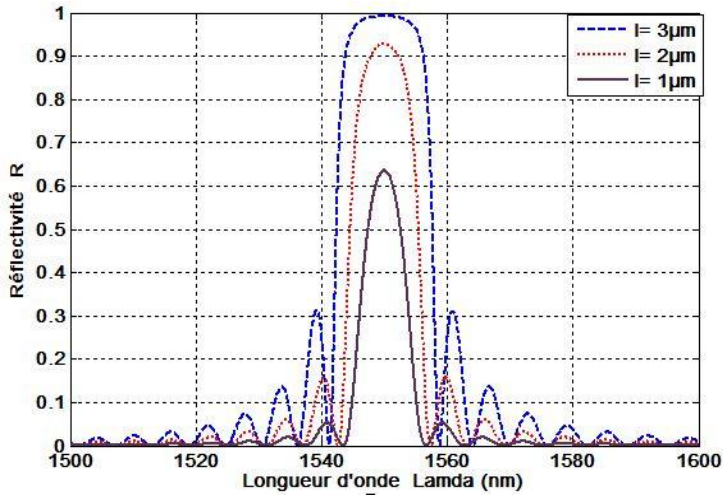


Figure. 3: Réflectivité en fonction de la longueur d'onde pour différentes valeurs de l .

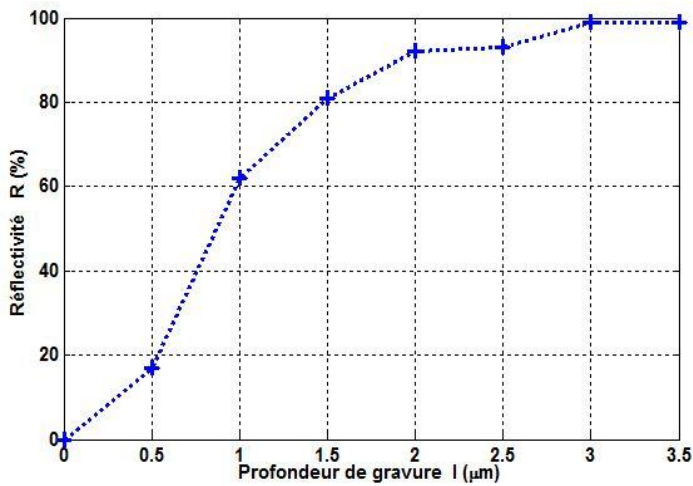


Figure. 4: Réflectivité mesurée en fonction de la profondeur de gravure l (pour $N = 60$ périodes).

III. PERTES DUES A LA PROFONDEUR DE GRAVURE

La caractérisation d'un guide d'onde est essentielle en tant qu'étape préliminaire pour optimiser un processus de fabrication de guide d'ondes en vue de la fabrication de composants optique intégrés. Un des caractéristiques les plus importantes d'un dispositif de guidage est sa faible atténuation, ainsi la détermination des pertes optiques est d'un

intérêt majeur lors de l'évaluation et l'optimisation d'un processus de fabrication. Il existe différents types de pertes [21, 22], tels que :

- Le processus d'injection et d'alignement.
- L'absorption du Matériau.
- L'inhomogénéité de la structure.

Dans ce travail, le type de perte que nous avons examiné lié à la profondeur de gravure l , en injectant le signal dans le guide. Des mesures expérimentales réalisées sur un guide d'onde à base de niobate de lithium $\text{LiNbO}_3 : \text{Ti}$ diffusés est mise en œuvre par gravure avec une forte ondulation d'indice de période $\Lambda = 1.8 \mu\text{m}$, $m = 5$, $N = 60$, dont le but d'évaluer les pertes en fonction de la profondeur de gravure l . La Fig. 5 montre les pertes mesurées en fonction de la profondeur de gravure l pour un nombre de période $N = 60$.

Lors de l'examen de ce résultat présenté ci-dessous il semble qu'en absence d'ondulation d'indice les pertes sont de l'ordre de 2.7 dB, mais au cours du processus de gravure, il apparaît clairement que les pertes augmentent en fonction de la profondeur de gravure l de 3.1 dB pour $l = 0.5 \mu\text{m}$ à 5.3 dB pour $l = 4 \mu\text{m}$.

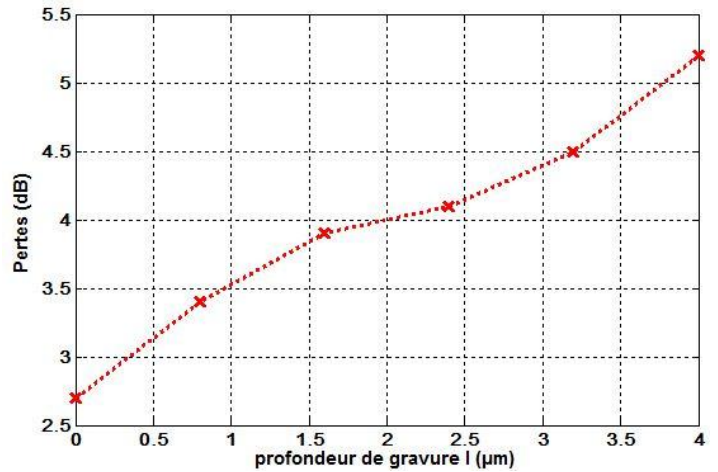


Figure. 5: Pertes mesurées en fonction de la corrugation à $N = 60$ périodes.

La figure 6 montre le résultat de l'ensemble Réflectivité-Pertes en fonction de la profondeur de gravure l pour un nombre de période $N = 160$. Il apparaît clairement à travers cette figure que dès lors que nous avons une profondeur de 2 μm , la réflectivité atteint son niveau optimal 99%. Par ailleurs, nous constatons également, qu'avoir une profondeur de gravure dépassant les 2 μm n'améliore pas la performance de réflectivité, mais elle augmente la valeur de perte. En effet, entre 2 μm et 4 μm la réflectivité n'évolue pas alors que les pertes subissent une variation à la hausse de 1,9 dB.

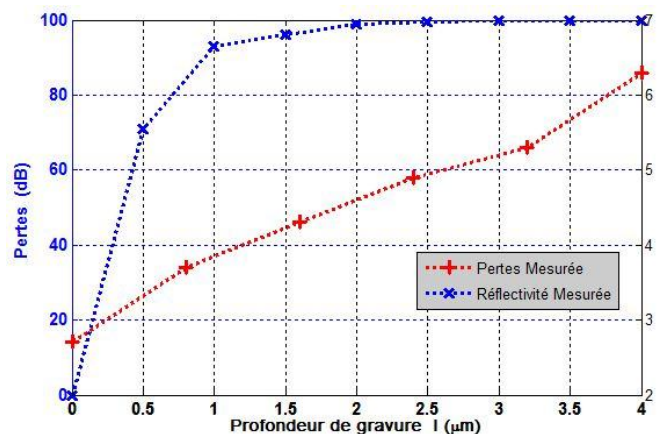


Figure. 6: Réflectivité et pertes mesurées en fonction de la corrugation à $N = 140$ périodes.

IV. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons présenté l'étude de l'influence de la profondeur de gravure l sur la réflectivité R , le coefficient de couplage K et les pertes. Nous avons montré expérimentalement qu'il y a une profondeur de gravure optimale qui peut résoudre le compromis gain-pertes en termes de performances exigées. L'étude présentée a été basée sur les mesurés et les réalisations expérimentales et elle est en cours d'être complétée par un modèle théorique, elle ouvre la possibilité à d'autres futures applications en particulier les modulateurs électro-optique et le codage CDMA.

REFERENCES

- [1] S. Combré, P. Colman, C. Husko, Q. Tran, A. De Rossi, "Advances in III-V based photonic crystals for integrated optical processing," *ptoc-SPIE 760815*, san Francisco, Californie, USA, 2010.
- [2] R. Farha, K. Ghoumid, Q. Zou, B.-E. Benkelfat, "Analysis of a novel photonic-crystal structure laterally over modulated Ti:Er:LiNbO₃ engraved in waveguide for 1.55 μm emission," *J. Opt. A, Pure Appl.*, vol. 14, pp. 1-8, 2012.
- [3] K. Noguchi, O. Mitoni, H. Miyazawa, S. Seki, "A broadband Ti:LiNbO₃ modulator with a ridge structure," *J. of Lightwave Technol.*, vol. 13, pp. 1164, 1995.
- [4] R. Ferrière, B.-E. Benkelfat, J. Dudley and K. Ghoumid, "Bragg mirror inscription on LiNbO₃ waveguides by index microstructuration," *J. Appl.*, vol. 45, pp. 1-9, 2006.
- [5] F. A. Gutierrez, P. Perry, E.P. Martin, A. D. Ellis, F. Smyth and L. P. Barry, "All- Analogue Real-Time Broadband Filter Bank Multicarrier Optical Communications System," *IEEE, J. Lightwave Technology*, vol. 33, pp. 5073-5083, 2015.
- [6] K. Ghoumid, I. Elhechmi, S. Mekaoui and T. Gharbi. "Multi-wavelength Filtering Wideband by Cascade Bragg Reflectors in Optical waveguides," *International Journal of Information and Electronics Engineering*, vol. 3, pp. 506-509, 2013.
- [7] K. Ghoumid, B.-E. Benkelfat, R. Ferriere, G. Ulliac, and T. Gharbi, "Wavelength-Selective Ti:LiNbO₃ Multiple Y-Branch Coupler Based on Focused Ion Beam Milled Bragg Reflectors," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 29, pp. 3536, 2011.
- [8] H. Hu, R. Ricken, W. Sohler, "Low loss ridge waveguides on lithium niobate fabricated by local diffusion doping with titanium," *Appl. Phys. B*, vol. 98, pp. 677, 2010.
- [9] K. Ghoumid, S. Mekaoui, A. Ouariach, R. Cheikh, A. Nougouai, T. Gharbi, "Tunable filter based on cavity electro-optic modulation for DWDM applications," *Optics Communications*, vol. 334, pp. 332-335, 2015.
- [10] L. Pierno, M. Dispenza, A. Secchi, A. Fiorello, V. Foglietti, "A lithium niobate electro-optic tunable Bragg filter fabricated by electron beam lithography," *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, vol. 10, pp. 1-6, 2008.
- [11] A. Ouariach, K. Ghoumid, R. Malek, Ali El Moussati, A. Nougouai, T. Gharbi, "Multiband filter at adjustable free spectrale range by convolution of transfer functions according to the vernier effect," *IET Optoelectronics.*, in press.
- [12] Z. Ren, P. J. Heard, J. M. Marshall, P. A. Thomas, S. Yu, "Etching characteristics of LiNbO₃ in reactive ion etching and inductively coupled plasma," *Journal of applied physics*, vol. 103, 034109, 2008.
- [13] A. Hardy, W. Streifer, "Coupled mode theory of parallel waveguides," *IEEE. J. Lightwave Tech.*, vol. 3, pp. 1135-1146, 1985.
- [14] J. Hong, W. Huang, T. Makino, "On the transfer matrix method for distributed-feedback waveguide devices," *IEEE. J. Lightwave Technology*, vol. 10, pp. 1860-1868, 1992.
- [15] B. Kim, E. Garmie "Comparison between the matrix method and the coupled-wave method in the analysis of Bragg reflector structures," *J. Opt. Soc.*, vol. 9, pp. 132-136, 1992.
- [16] K. O. Hill K, G. Meltz, "Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 15, pp. 1263-1276, 1997.
- [17] K. Ghoumid, I. Elhechmi, S. Mekaoui, C. Pieralli, T. Gharbi, "Analysis of optical filtering in waveguides with a high index modulation using the extended coupled mode theory by hybridation of a matrix method," *Optics Communications*, vol. 283, pp. 85-91, 2013.
- [18] K. Ghoumid, R. Ferriere, B.-E. Benkelfat, B. Guizal, and T. Gharbi, "Optical performance of Bragg gratings fabricated in Ti: LiNbO₃ waveguides by focused ion beam milling," *J. Lightw. Technol.*, vol. 28, pp. 3488-3493, 2010.
- [19] W. Streifer, D. Scifres, and R. Burnham, "Coupling coefficients for distributed feedback single-and double-heterostructure diode lasers," *IEEE. Quantum Electron.*, vol. QE-11, pp. 867-873, 1975.
- [20] K. Ghoumid, R. Ferriere, B.-E. Benkelfat, S. Mekaoui, Ch. Benmouhoub, and T. Gharbi, "Technological Implementation Fabry-Perot Cavity in Ti:LiNbO₃ Waveguide by FIB," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 24, pp. 231-233, 2012.
- [21] H. Bookey, R. Thomson, N. Psaila, A. Kar, N. Chiodo, R. Osellame, and G. Cerullo, "Femtosecond laser inscription of low insertion loss waveguides in Z-cut lithium niobate," *IEEE photon. Technol. Lett.*, vol. 19, pp. 892-894, 2007.
- [22] F. Rottmann and E. Voges, "Low-insertion-loss tunable wavelength multiplexer on lithium niobate," *Electron. Lett.*, vol. 23, pp. 1007-1008, 1987.

Conception, réalisation et fonctionnement d'un four solaire de type boîte

Sofian Talbi, laboratoire LETSER
Facultés des sciences, département de physique
Université Mohamed première,
Oujda, Maroc.
E-mail:sofain.talbi@gmail.com

Rachid Malek, laboratoire LETSER
Facultés des sciences, département de physique
Université Mohamed première,
Oujda, Maroc
E-mail: rch_malek@hotmail.com

Khalil Kassmi laboratoire LESTSER
Facultés des sciences, Département de physique
Université Mohamed première,
Oujda, Maroc
Email : khkassmi@yahoo.fr

Résumé—Le travail présenté dans cet article concerne la conception, la réalisation et le fonctionnement d'un four solaire de type boîte en fonction du nombre de réflecteurs. Les résultats obtenus montrent que l'ajout des réflecteurs supplémentaires fait augmenter la puissance et le rendement du cuiseur solaire.

Mots-clés—Four solaire de type boîte; réflecteurs; résistance thermique; température; puissance et rendement.

I. INTRODUCTION

Actuellement, plus 2 milliards de personnes utilisent le bois de chauffage des forêts pour les cuisons dans les cuisines [4]. Afin de limiter la déforestation de ces forêts de nombreux programmes proposent des fours solaires pour le monde rural et encouragent les habitants à les utiliser pour les cuisons. L'utilisation des cuiseurs solaires contribue à limiter la déforestation et préserver l'environnement.

Les cuiseurs solaires ont montré des satisfactions, dans beaucoup de région du monde (Afrique,...), malgré leurs limitations de fonctionnements principaux problèmes qu'on rencontre résident dans la durée de cuisson plus longue, à cause de la faible compensation de la température de cuisson [5], et dans l'absence de cuisson durant la nuit. Dans ce cadre, nous proposons la conception et la réalisation des fours solaires performants, adaptables à toutes les situations, en exploitants directement l'énergie solaire issue du soleil et celle électrique fournie par les panneaux photovoltaïques qui stockent l'énergie électrique dans les batteries solaires.

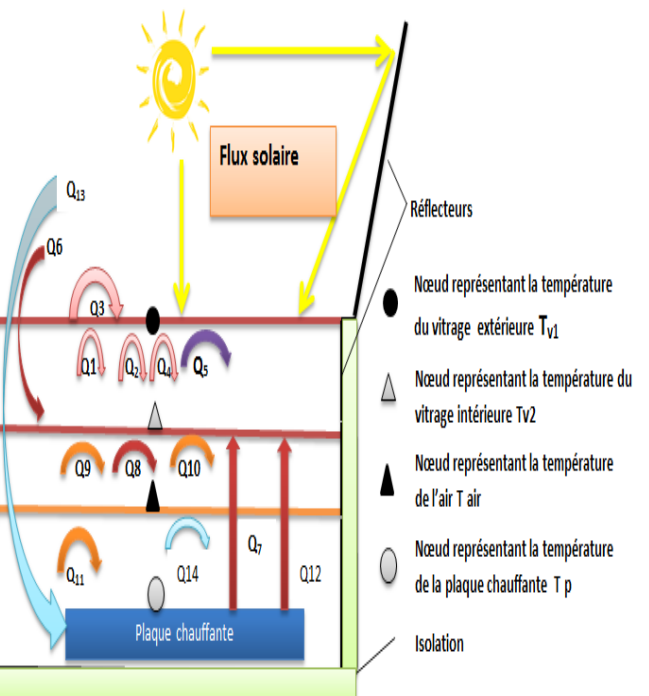
Dans cette communication, nous présentons les résultats concernant l'exploitation directement de l'énergie solaire. Après avoir décrit la structure du prototype du four, nous décrivons les équations qui régissent le phénomène de la conversion de rayonnement solaire en chaleur, ensuite nous présentons les résultats des simulations qui concernent la résistance thermique équivalente à l'intérieur du four, la température dans le four, le rendement global, et la puissance.

II. STRUCTURE DU FOUR SOLAIRE

La figure 1 représente le schéma du four solaire qui fait l'objet de notre étude. Les différents blocs de ce four sont :

- Un réflecteur extérieur dont le rôle est la captation du maximum du rayonnement solaire
- Quatre réflecteurs intérieurs dont le rôle est de réfléchir le rayonnement solaire sur l'absorbeur.
- Un Double vitrage dont le rôle est de garder la chaleur à l'intérieur de la boîte par l'effet de serre.
- Une Plaque chauffante et rôle supporter l'ustensile de cuisine
- Boîte thermiquement isolée (laine de chanvre, aluminium, bois) pour minimiser les pertes thermiques dans le four solaire.

Figure 1: structure du four solaire, à un réflecteur



Le rayonnement solaire est converti en chaleur par un absorbeur. Les rayons pénètrent par la vitre dans une boîte isolée, la température monte progressivement, et le récipient noir placé à l'intérieur se retrouve immergé dans la chaleur.

III. BILAN THERMIQUE DES COMPOSANTES DU FOUR SOLAIRE

Dans cette partie nous avons déterminé les différentes modes de transfert de chaleurs dans un cuiseur solaire boîte à quatre réflecteurs sont illustrés sur la figure 1, et sont les suivant :

- Echange de chaleur par convection entre le vitre extérieure et l'ambiante :

$$Q_1 = h_{c,v_2-amb} * S * (T_{v_2} - T_{amb}) \quad (1)$$

- Echange du chaleur par le rayonnement entre le vitre extérieure et le ciel Q2 :

$$Q_2 = \sigma * S * (\varepsilon_c T_{v_2}^4 - \varepsilon_c T_{ciel}^4) \quad (2)$$

- Le vitre extérieure reçoit par rayonnement solaire une quantité de chaleur sous forme

$$Q_3 = G_{v1} S_1 \quad (3)$$

- Echange de chaleur par convection entre les deux vitres

$$Q_4 = h_{c,v_2-v_1} * S * (T_{v_2} - T_{v_1}) \quad (4)$$

- Echange de chaleur par rayonnement entre les deux vitres :

$$Q_5 = h_{r,v_2-v_1} * S * (T_{v_2} - T_{v_1}) \quad (5)$$

- Le vitre intérieure reçoit par rayonnement solaire une quantité de chaleur sous forme :

$$Q_6 = G_{v2} * S_2 \quad (6)$$

- Echange de chaleur par rayonnement entre la plaque chauffante et le vitre intérieur Q7 :

$$Q_7 = h_{r,p-v_2} * S * (T_P - T_{v_2}) \quad (7)$$

- Echange de chaleur par convection entre l'air et le vitre intérieure Q8 :

$$Q_8 = h_{c,air-v_2} * S * (T_{air} - T_{v_2}) \quad (8)$$

- Echange de chaleur par convection entre le vitre intérieure et l'air :

$$Q_9 = h_{c,v_2-air} * S * (T_{v_2} - T_{air}) \quad (9)$$

- Echange de chaleur par convection entre l'air et l'ambiante :

$$Q_{10} = h_{c,air-amb} * S * (T_{air} - T_{amb}) \quad (10)$$

- Echange de chaleur par convection entre la plaque chauffante et l'air :

$$Q_{11} = h_{c,p-air} * S * (T_P - T_{air}) \quad (11)$$

- Echange de chaleur par convection entre la plaque chauffante et le vitre intérieure :

$$Q_{12} = h_{c,p-v_2} * S * (T_P - T_{v_2}) \quad (12)$$

- La plaque chauffante reçoit par rayonnement solaire une quantité de chaleur sous forme :

$$Q_{13} = G_P * S_P \quad (13)$$

- Echange de chaleur par convection entre la plaque chauffante et l'ambiante :

$$Q_{14} = h_{c,p-amb} * S * (T_P - T_{amb}) \quad (14)$$

Pour l'écriture le bilan thermique dans un cuiseur solaire boîte, nous avons supposé les hypothèses suivant pour simplifier le modèle :

- Les échanges de chaleur sont unidirectionnels
- La température est uniforme dans chaque composant du cuiseur.
- La vitesse du vent est constante.
- Les propriétés thermo-physiques du vitre, de l'air, et de la plaque chauffante sont considérées constante dans la marge des températures du fonctionnement du cuiseur.

Le bilan thermique s'écrivant pondant un intervalle de temps dt sous forme suivante :

$$\text{Sorties- Entrées} + \text{Sstockages} = 0$$

- Bilan énergétique sur le nœud de vitrage extérieur T_{v1} :

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5 - (mcp)_{v1} \frac{dT_{v1}}{dt} = 0 \quad (15)$$

Finalement le model énergétique s'écrit sous forme :

$$(mcp)_{v1} \frac{dT_{v1}}{dt} = h_{c,v_2-amb} * S * (T_{v_2} - T_{amb}) + \sigma * S * (\varepsilon_c T_{v_2}^4 - \varepsilon_c T_{ciel}^4) - G_{v1} * S_1 - h_{c,v_2-v_1} * S * (T_{v_2} - T_{v_1}) - h_{r,v_2-v_1} * S * (T_{v_2} - T_{v_1}) \quad (16)$$

- Bilan énergétique sur le nœud du seconde vitrage T_{v2} :

$$Q_4 + Q_5 - Q_6 - Q_7 - Q_8 - (mcp)_{v2} \frac{dT_{v2}}{dt} = 0 \quad (17)$$

Finalement le model énergétique s'écrit sous forme :

$$\begin{aligned}
(mcp)_{v_2} \frac{dT_{v_2}}{dt} &= h_{c,v_2-v_1} * S * (T_{v_2} - T_{v_1}) + \\
h_{r,v_2-v_1} * S * (T_{v_2} - T_{v_1}) - G_{v_2} * S_2 & \\
-h_{r,p-v_2} * S * (T_p - T_{v_2}) - h_{c,air-v_2} * S * (T_{air} - T_{v_2}) &
\end{aligned} \quad (18)$$

- Bilan énergétique sur le nœud du l'air interne : T_{air}

$$\begin{aligned}
Q_9 + Q_{10} - Q_{11} \\
-(mcp)_{air} \frac{dT_{air}}{dt} = 0
\end{aligned} \quad (19)$$

Finalement le model énergétique s'écrit sous forme :

$$\begin{aligned}
(mcp)_{air} \frac{dT_{air}}{dt} &= h_{c,v_2-air} * S * (T_{v_2} - T_{air}) + \\
h_{c,air-amb} * S * (T_{air} - T_{amb}) - h_{c,p-air} * S * (T_p - T_{air}) &
\end{aligned} \quad (20)$$

- Bilan énergétique sur le nœud du plaque chauffante T_p :

$$\begin{aligned}
Q_{11} + Q_{12} - Q_{13} - \\
Q_{14} - (mcp)_p \frac{dT_p}{dt} = 0
\end{aligned} \quad (21)$$

Finalement le model énergétique s'écrit sous forme :

$$\begin{aligned}
(mcp)_p \frac{dT_p}{dt} &= h_{c,p-air} * S * (T_p - T_{air}) + \\
h_{c,p-v_2} * S * (T_p - T_{v_2}) & \\
-G_p * S_p - h_{c,p-amb} * S * (T_p - T_{amb}) &
\end{aligned} \quad (22)$$

Nous avons supposé que le four atteint une température intérieure constante. L'énergie reçue par l'intérieur du four compense les pertes par les parois en direction de l'extérieur. Nous pouvons alors écrire que la puissance du rayonnement solaire reçue est égale au flux thermique :

$$P_{thermique} = \phi = \frac{\Delta T}{R_{\acute{e}q}} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{\acute{e}q}} \quad (23)$$

Avec :

T_{int} : La température intérieure dans le four.

T_{ext} : La température extérieure.

$R_{\acute{e}q}$: La résistance thermique du four solaire

Calcul de la résistance équivalente dans le four

- Pour les parois :

$$R_{th-parois} = R_{th-alum} + R_{th-laine} + R_{th-bois} \quad (24)$$

$$R_{th-parois} = \frac{1}{S} \left(\frac{e_{alu}}{\lambda_{alum}} + \frac{e_{laine}}{\lambda_{laine}} + \frac{e_{bois}}{\lambda_{bois}} \right) \quad (25)$$

- Pour le vitre :

$$R_{th-vitres} = R_{th-v} + R_{th-air} + R_{th-v} \quad (26)$$

$$R_{th-vitres} = \frac{1}{S} \left(\frac{2 * e_{verre}}{\lambda_{verre}} + \frac{e_{air}}{\lambda_{air}} \right) \quad (27)$$

Le flux total qui traversant le four solaire Q_T :

$$\begin{aligned}
\phi_T = \phi_{th-parois} + \phi_{th-vitres} = \\
\frac{\Delta T}{R_{th-parois}} + \frac{\Delta T}{R_{th-vitres}} = \frac{\Delta T}{R_{Réq}}
\end{aligned} \quad (28)$$

Finalement la résistance thermique globale du four :

$$R_{\acute{e}qu} = \frac{R_{th-parois} * R_{th-vitres}}{R_{th-parois} + R_{th-vitres}} \quad (29)$$

Le rendement du four solaire présente le pourcentage de lumière réellement collecté et transformé sous forme de chaleur, s'écrivant sous forme :

$$\eta = \frac{P_{thermique}}{P_{lum}} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{E.S} \quad (30)$$

IV. RESULTATS ET SIMULATION

A. l'évolution de l'éclaircissement et la temperature durant trois saison

Les deux figures (2,3) représentant respectivement la variation de l'éclaircissement et des températures extérieurs durant les trois saisons :

- Durant la saison du printemps : le rayonnement solaire varie au cours de la journée de 290W / m² à 910W / m², le rayonnement solaire maximal atteint 910 W / m² vers 13h40min, et la température maximale atteint la valeur de 37°C vers 13h30min.
- Durant la saison d'été : le rayonnement solaire varie au cours de la journée de 260 W/m² à 850 W/m². Le rayonnement solaire maximal atteint 910 W/m² vers 13h41min, et la température maximale atteint la valeur de 47°C vers 14h03min.
- Durant la saison de hiver ; le rayonnement solaire varie au cours de la journée de 130 W/m² à 850 W/m². Le rayonnement solaire maximal atteint 920 W/m² vers 13h40min. Et la température maximale atteint la valeur de 22°C vers 15h03min.

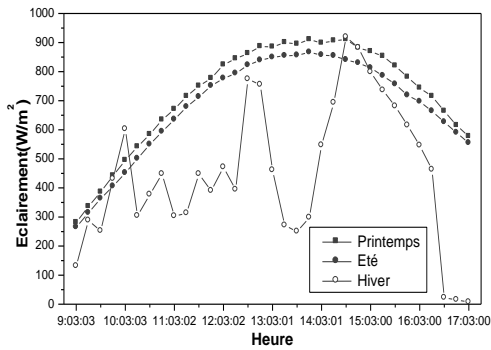


Figure 2: Eclairages durant trois saisons

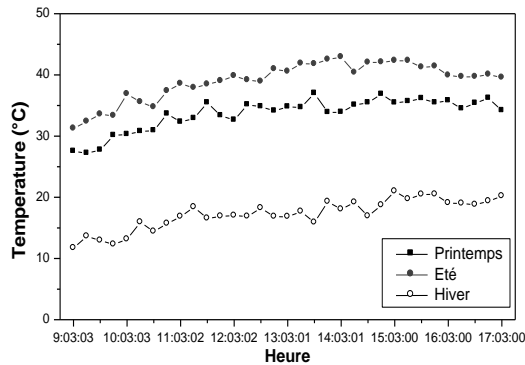


Figure 3 : Températures extérieurs durant trois saisons.

Ces résultats montrent que les conditions climatiques de l'éclairement et de la température sont favorables pour un bon fonctionnement de notre cuiseur durant les deux saisons du printemps et été, et pour un mauvais fonctionnement durant l'hiver. C'est pour toutes ces raisons que la puissance du cuiseur solaire dépend de l'ensoleillement. Pour un éclairage donné lorsqu'on le coupe, la puissance et le rendement de notre cuiseur commencent à s'annuler. Pour remédier à ce problème nous proposons l'intégration du stockage thermique. Son principe est simple : Accumuler la chaleur en journée dans un système de stockage et la récupérer quand c'est nécessaire. Son rôle est donc de différer la disponibilité de l'énergie solaire. Les matériaux à changement de phase ou les sels fondus sont les plus employés pour ce stockage

B. Variation de la température dans le four solaire

La représentation des températures dans le four durant les trois saisons dans une journée est montrée sur la figure 4.

- Durant la saison du printemps la température dans le four varie de 81°C à 145°C. la température maximale atteint 209°C vers 13h33min.
- Durant la saison d'été : la température dans le four varie de 82°C à 146°C. la température maximal atteint 201 °C vers 14h48min.
- Durant la saison d'hiver, nous avons une mauvaise stabilité de température dans le four.

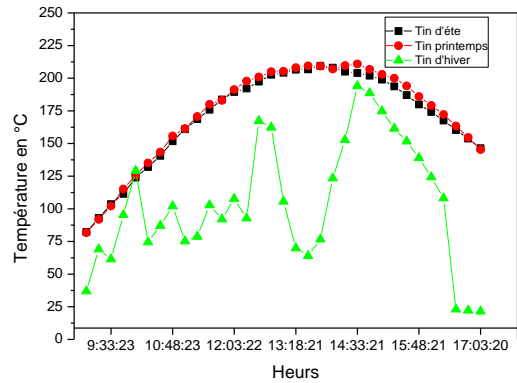


Figure 4: Variation de la température dans le four durant trois saisons

C. Le rendement du four solaire dans la saison d'été

La figure 5 montre l'augmentation du rendement du four en fonction du nombre des réflecteurs durant une journée de l'été.

- Concernant le cuiseur sans réflecteurs, il atteint une valeur maximale de 25% vers 9h12min.
- Pour le cuiseur avec 1 réflecteur, il atteint une valeur maximale de 38% vers 9h12min.
- Quant au cuiseur avec deux réflecteurs, il atteint une valeur maximale de 51% vers 9h12min.
- Pour le cuiseur avec trois réflecteurs, il atteint une valeur maximale de 60% vers 9h12min.
- Finalement, pour le cuiseur avec quatre réflecteurs, il atteint une valeur maximale de 73% vers 9h12min.

Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que l'ajout de réflecteurs supplémentaires fait l'augmenter la captation du rayonnement solaire.

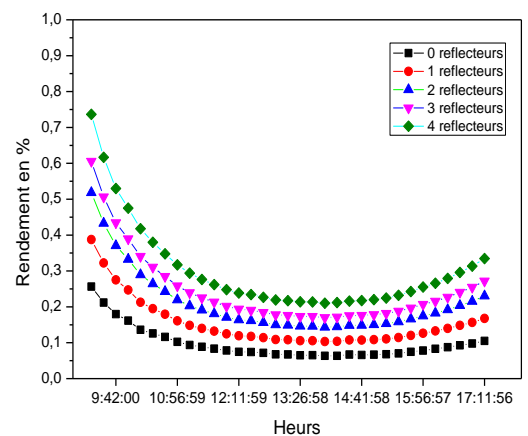


Figure 5: Rendement en fonction du nombre des réflecteurs durant la saison d'été.

D. Le rendement du four solaire dans la saison du printemps

La figure 6 illustre la variation du rendement du four solaire en fonction du nombre de réflecteurs dans la saison du printemps.

- Quant au cuiseur sans réflecteur, il atteint une valeur maximale de 21%
- Pour le cuiseur avec un réflecteur, il atteint une valeur maximale de 38% vers 9h03min.
- Concernant le cuiseur avec deux réflecteurs, il atteint une valeur maximale de 51% vers 9h03min.
- Quant au cuiseur avec trois réflecteurs, il atteint une valeur maximale de 58% vers 9h03min.
- Pour le cuiseur avec quatre réflecteurs, il atteint une valeur maximale de 70% vers 9h03min.

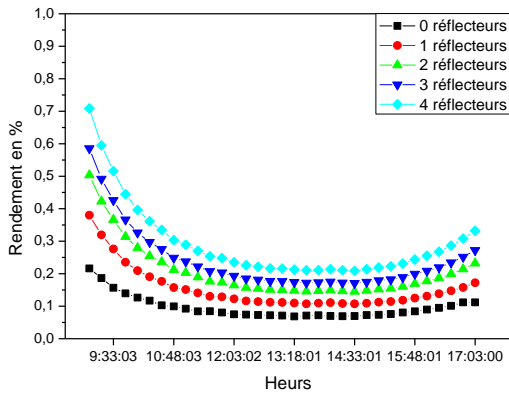


Figure 6: Rendement en fonction du nombre des réflecteurs durant la saison Printemps

E. Le rendement du four solaire dans la saison du hiver

La figure 7 représente la variation du rendement en fonction du nombre des réflecteurs. On remarque qu'une mauvaise stabilité du rendement dans la saison de l'hiver. Mais nous avons toujours l'augmentation du rendement avec l'ajout des réflecteurs.

Ces résultats peuvent être expliqués par la mauvaise condition climatique de l'éclaircement et de la température dans la saison d'hiver.

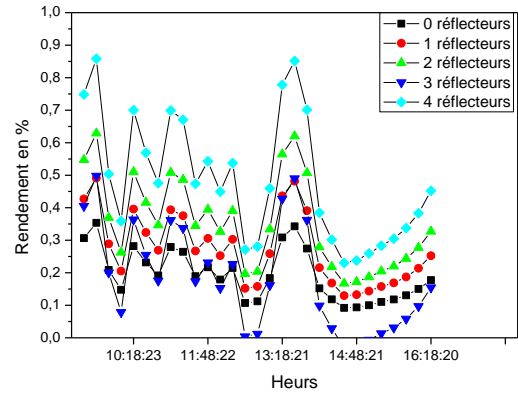


Figure 7: Rendement en fonction du nombre des réflecteurs durant la saison d'hiver

F. Variation de la puissance en fonction du nombre des réflecteurs durant les trois saisons

Les trois figures suivant 8,9,et 10 représentent l'évolution de la puissance du four solaire en fonction du nombre des réflecteurs dans les trois saisons pour une journée. On remarque une très bonne amélioration de la puissance lorsque on ajoute des réflecteurs supplémentaires.

- Dans la saison du printemps, la valeur moyenne de puissance pour le cuiseur solaire à quatre réflecteurs atteint 366.98 wat.
- Dans la saison d'été, la valeur moyenne de puissance pour le cuiseur solaire à quatre réflecteurs atteint 342.49 wat
- Dans la saison d'hiver, la valeur moyenne de puissance pour le cuiseur solaire à quatre réflecteurs atteint 388.92 wat

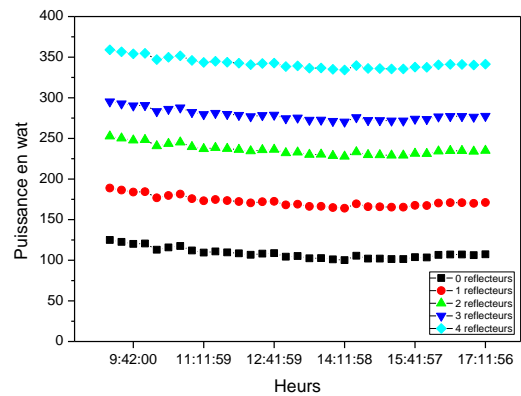


Figure 8: Puissance en fonction du nombre des réflecteurs durant la saison d'été

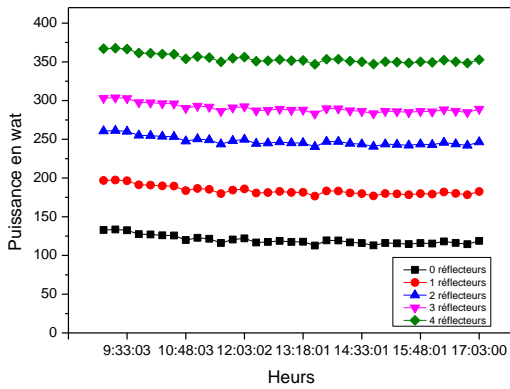


Figure 9: Puissance en fonction du nombre des réflecteurs durant la saison du printemps

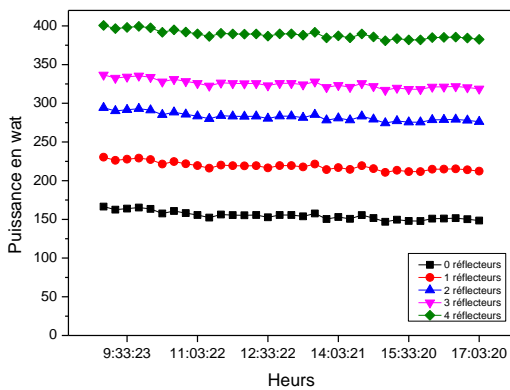


Figure 10: Puissance en fonction du nombre des réflecteurs durant la saison d'hiver

Conclusion

Dans cet article, nous avons analysé la conception et les modules énergétiques de chaque bloc du four solaire boîte à quatre réflecteurs. Nous avons montré que le nombre des réflecteurs du four solaire augmentera la température et par conséquent la puissance de la cuisson de notre four solaire.

Les différents résultats ont montré la faisabilité du système et son bon fonctionnement. Ce système permettant à cuire la plupart des aliments qui nécessitent des températures élevées comme le pain, la viande et les légumes. Ce système peut être d'une grande utilisé pour la population des zones rurales de la région de l'Oriental du Maroc.

Références

- [1] D.S.Halacy and B.Halacy, "Cooking with the Sun", La Fayette, California, USA. Morning Sun Press, p.1992
- [2] F.Yetto, A.Gama, B.Azoui et A.Malek, "Etude comparative deux types de cuiseurs solaire boîte en milieux aride," Revue des Energies Renouvelables, SIENR 12Ghardaia(2012)233-245
- [3] J.Hofierka and M.Suri, "The Solar Radiation Model for Open SourceGIS: Implemenation and Applications," Procceding of the Open source GIS -Grass user Conference, Trento, Italy, 11-13 Sptember, 2002
- [4] A.Harmim, M.Merzouk, M boukar et M.Amar, "Développement et Expérimentation d'un Nouveau Cuiseur Solaire Stationnaire," Revue des Energies Renouvelables, vol.16, N°2, pp.337-346, 2013

- [5] YETTO FATIHA, "Conception et réalisation d'un système de cuisson solaire destiné au site saharien (Ghardaia, Algérie) ,"Thèse de Doctorat en sciences, Université HADJ LAKHDAR Batna ,Faculté de technologie, Algérie 2015
- [6] PapaNGOM, ababacarTHIAM ,MamadouADJ, Vincent SAMBOU, Dorothé AZILINON, "ETUDE THERORIQUE ET EXEPERIMENTALE D'UN CUISEUR SOLAIRE A CHANGEMENT DE PHASE," Journal des Sciences
- [7] Rania RAMZI, Salwa BOUADILA*, Amen ALLAh GUIZANI*, Ridha ABID, "STOCKAGE Thermique par chaleur latente dans capteur solaire Sous vide," Vème Congrès International sur les Energies Renouvelables et l'Environnement.

Simulation Monte Carlo des premiers stades du dépôt des couches minces : cas CdTe/GaAs

Ayoub BENDAMOU, Rachid MALEK, Khalil KASSMI

Equipe : Matériaux Electroniques & Energies
Renouvelables (MEER)

Laboratoire : Electromagnétisme, Traitement de Signal &
Energies Renouvelables (LETSER)

Université Mohamed Premier – Oujda

Facultés des Sciences - Oujda

Oujda, Maroc

rch.malek@hotmail.com

Résumé— Le travail présenté dans cet article concerne des simulations Monte Carlo de la cinétique des premiers stades du dépôt des couches de CdTe sur un substrat de GaAs. Cette hétérostructure présente un intérêt technologique important dans des applications en microélectronique et en optoélectronique du fait des contraintes au niveau de son interface qui sont principalement dues à un désaccord de maille élevé (14,7%). Dans cette communication, nous présentons le modèle de simulation Monte Carlo ainsi que la procédure du déroulement du dépôt des couches CdTe sur le substrat GaAs. Nous présentons ensuite les résultats des simulations qui concernent notamment les statistiques des événements produits en surface, les taux de remplissage des premières couches, la rugosité de la surface ainsi que sa morphologie. (*Abstract*)

Mots clés— Méthode de Monte Carlo; CdTe/GaAs; transitions en surface; rugosité et morphologie de surface

I. INTRODUCTION

L'étude des assemblages hétéroépitaxiale s'avère d'un intérêt énorme pour l'élaboration des matériaux de composition variable pour réaliser de nouveaux dispositifs en optoélectronique et en microélectronique. La formation des premiers stades du dépôt des films restent dans le cas des assemblages hétéroépitaxiale au centre des préoccupations des spécialistes de la croissance cristalline. Notre attention se porte essentiellement sur les hétéroépitaxies présentant un fort désaccord de maille qui, par exemple, est de 14.7% pour la transition CdTe/GaAs. Cette hétéroépitaxie met en jeu deux matériaux ayant des propriétés différentes appartenant aux groupes III-V et II-VI, l'un pour ses bonnes performances en électronique et l'autre pour l'optoélectronique. Le développement de ces hétérostructures nécessite la compréhension des mécanismes très complexe ayant lieu lors de la croissance. Pour notre part, nous nous intéressons aux phénomènes d'apparition des défauts à l'interface, contraints et déformation dans les couches déposées et rugosité des couches en cours de croissance.

Le propos de cet article est de présenter notre modèle et les algorithmes utilisés ainsi que les étapes et la procédure de

déroulement de la simulation du dépôt des couches CdTe sur un substrat GaAs. Nous présentons ensuite les résultats des simulations qui concernent notamment les statistiques des événements produits en surface, les taux de remplissage des premières couches, la rugosité de la surface ainsi que sa morphologie.

II. SIMULATION ET MODELISATION

Notre modèle est basé sur la méthode de Monte Carlo pour le déroulement temporelle des événements. On peut résumer une simulation Monte Carlo de la cinétique en six étapes, répétée de nombreuses fois jusqu'à ce que le temps de simulation est atteint [1,5] :

- Calculer le taux $R_i(C \rightarrow C_i)$ de tous les processus possibles qui peuvent être réalisés pour une configuration donnée du système.
- Génération d'un nombre aléatoire m compris entre 0 et 1 et trouver un événement k pour lequel $P_{k-1}(C) < m < P_k(C)$
- Exécuter l'événement k (partant d'une configuration initiale C à une nouvelle configuration C'')
- Incrémenter le temps de simulation $t = t + \Delta t$
- Reconstruire la liste des événements possibles pour la nouvelle configuration
- Vérifier si le temps maximal de la simulation $t_{max} \leq t$

Toutes ces étapes de calcul sont implémentées dans les processus de croissance hétéroépitaxiale. La méthode de Monte Carlo permet de définir le rythme d'apparition des différents événements de surface : adsorption, migrations intracouche et intercouche, évaporation, réactions entre atomes en positions interstitielles. Cette méthode attribue un temps à chaque transition possible par un calcul de probabilité de réalisation selon la loi d'Arrhenius et par un tirage aléatoire.

Le temps est un paramètre important pour la gestion des événements ayant lieu sur la surface. Celui-ci est défini par un tirage aléatoire de Monte Carlo et est déterminé suivant la loi [4, 8, 9]:

$$t_i = -\frac{\ln(Z_i)}{\lambda_i} \quad (1)$$

Z_i est un nombre aléatoire uniformément réparti entre 0 et 1. λ_i est la probabilité de réalisation de l'événement par unité de temps.

La procédure de calcul des probabilités change selon que l'événement traité est une arrivée ou hors arrivée.

Dans le cas d'une arrivée, la probabilité est donnée par la cinétique en phase gazeuse [4, 6,8] :

$$\lambda = \frac{\text{CPS}}{\sqrt{MT}} \quad (2)$$

C est une constante ($C = 3,513 \cdot 10^{23}$), P est la pression en Torr, S est la surface d'un site, M est la masse molaire des espèces adsorbés et T la température du gaz en degré Kelvin.

Pour les événements hors arrivée qui correspondent à la cinétique en phase adsorbée, les probabilités de transition sont exprimées à partir de la loi d'Arrhenius [2, 3, 4,6] :

$$\lambda_i = \nu e^{-\frac{\Delta E_i}{kT}} \quad (3)$$

ν est la fréquence de vibration des atomes du substrat, K est la constante de Boltzman, T est la température du substrat et ΔE_i représente l'énergie d'activation de l'événement.

La sélection entre les différents événements possibles à partir d'une configuration donnée est effectuée par un double critère énergétique et aléatoire. La transition retenue est celle correspondant au minimum des temps. Cette transition modifie la configuration de la couche adsorbée qui peut évoluer vers d'autres configurations avec ou sans conservation du nombre d'atomes adsorbés. Ainsi, après la réalisation de chaque événement, il faut remettre à jour la configuration du cristal par détermination aussi bien des états d'occupation de chaque site que du nombre de liaisons des atomes adsorbés. Le déroulement de la croissance est schématisé sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**[4].

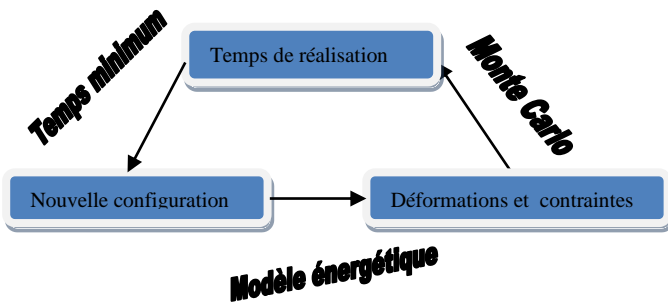


Fig. 1. Etapes importantes de la croissance

Le module d'entrée de notre logiciel se décompose en deux niveaux :

- Un niveau physique où l'utilisateur doit remplir un fichier « données » comportant les paramètres physiques qui sont la température variant entre 200 et

700°C, les constantes de forces ($k_{GaAs} = 1,1$ eV et $k_{CdTe} = 0,4$ eV) [4, 14,15], la vitesse de dépôt, la fréquence de vibration des atomes variant entre 10^9 et 10^{13} s⁻¹ et les énergies de liaisons chimiques ($\Phi_{GaAs} = 1,8$ eV, $\Phi_{CdTe} = 1$ eV et $\Phi_{GaTe} = 1,4$ eV) [4, 7,13].

- Un niveau géométrique comportant le désaccord de maille dépôt/substrat « CdTe/GaAs » est égale 14,7% (donné par la relation $\epsilon = \frac{a_{dpt} - a_{substrat}}{a_{substrat}}$) [12, 13,14], la taille du substrat de forme carrée ou rectangulaire, peut comporter jusqu'à 10^4 atomes ainsi que le nombre total de couches qui peuvent être déposées.

Le nombre total d'événements et le temps final de « l'expérience » simulée sont aussi contenus dans le fichier « données ».

Le simulateur utilise les données expérimentales au niveau de la structure géométrique des matériaux (blende de zinc dans notre cas), la différence de paramètre de maille, les constantes de forces déterminées à partir des coefficients élastiques et les énergies de liaisons entre différents atomes.

Les fichiers de sorties du logiciel contiennent toutes les informations nécessaires au cours de la croissance ou à la fin de celle-ci. Les plus importantes sont le type d'événement, son site d'occurrence, le numéro de la couche et le temps d'occurrence (Forme événementielle). En effet à partir des séquences des événements et de leurs emplacements, nous pouvons accéder à la configuration, aux déplacements atomiques et aux énergies de déformations locales. La forme statistique est caractérisée par des histogrammes variables avec la température et la taille du substrat. Ces derniers permettent d'exploiter les calculs à des fins d'analyse. La forme morphologique permet de visualiser les résultats de l'évolution de la surface au cours du temps.

III. CALCUL ENERGITIQUE

Le but de l'utilisation des énergies d'interaction dans le simulateur est le calcul des déformations du substrat et des couches déposées sous l'action des contraintes ainsi que la détermination des énergies d'activation. Le calcul exact ne peut être entrepris que dans le formalisme de la mécanique quantique par la résolution de l'équation de Schrödinger. Cette résolution pose de sérieux problèmes puisque pendant la croissance le système est loin de l'équilibre thermodynamique et surtout en présence de phase gazeuse et solide. On note également que les méthodes basées sur les fondements de la mécanique quantique trouvent plus de difficultés dans le cas de l'hétéroépitaxie où les défauts sont présents et la symétrie est rompue. Ces raisons expliquent donc notre orientation vers un modèle plus simple qui est le V.F.F. (Valence Force Field). La différence majeure entre les deux approches est que dans le modèle V.F.F. on traite les noyaux et électrons associés comme unités. L'énergie de contrainte d'un atome entreprise dans le cadre du modèle V.F.F. établie par Musgrave et Pople dans le cas d'une structure blende de zinc s'exprime en fonction de la compression de la liaison δr_{ij} et la flexion angulaire $\delta \theta_{ij}$ par la relation [2, 11,16] :

$$E_c = \frac{k_r}{r^2} \Sigma (\delta r_{ij})^2 + k_\theta \Sigma (\delta \theta_{ijk})^2 \quad (4)$$

Où

r est la distance entre proches voisins à l'équilibre.

k_θ, k_r sont les constantes de force relative à la déformation angulaire et la longueur de liaison.

Des travaux ont montré que la contribution de l'énergie de compression est nettement inférieure à celle de l'énergie de flexion [4,10] ce qui réduit l'expression précédente à :

$$E_c = k_\theta \Sigma (\delta\theta_{ijk})^2$$

Une conséquence de cette dernière approximation est que l'énergie totale de déformation peut s'écrire sous forme d'une somme d'énergies atomiques.

$\delta\theta_{ijk} = \theta_{ijk} - \theta_0$ représente la variation angulaire.

θ_{ijk} est l'angle formé par les trois atomes i, j, k dans la couche déformée et θ_0 l'angle à l'équilibre égal à $109^\circ 28'$. Dans une structure type blende de Zinc, un atome est lié au plus à quatre atomes proches voisins. Ce qui revient à calculer six angles pour chaque atome du cristal qui peut être déplacé de sa position d'équilibre.

L'énergie de déformation rapportée à un atome du cristal s'écrit alors :

$$E_c = k_\theta \Sigma_{i=1}^6 (\theta_i - \theta_0)^2$$

La méthode utilisée pour minimiser l'énergie de contrainte totale est celle de Newton Raphson. Elle se base sur le calcul de la dérivée seconde de l'énergie et nécessite la résolution d'un système à $3N-6$ équations (N est le nombre d'atomes).

$$\left(\frac{\delta E}{\delta x_i}\right) + \Sigma_{i,j=1}^{3N-6} \left(\frac{\delta^2 E}{\delta x_i \delta x_j}\right)_0 \Delta x_j = 0 \quad (5)$$

Dans notre cas, l'énergie totale s'écrit :

$$E = \Phi + E_c \quad (6)$$

Où Φ est l'énergie de liaison chimique dans le cristal qui constitue la partie de l'énergie indépendante des positions atomiques et E_c l'énergie de déformation qui constitue la partie de l'énergie dépendant des positions atomiques.

L'énergie de déformation peut être exprimée atome par atome sous une forme quadratique en fonction des déplacements atomiques :

$$E_c = \sum_{i,j} A_{ij} \Delta x_i \Delta x_j$$

Cette minimisation permet donc d'obtenir un système d'équation exprimé sous forme matricielle permettant ainsi la détermination des décalages des atomes par rapport à leurs positions d'équilibre :

$$[YM][\Delta X] = [P]$$

Soit
$$[\Delta X] = [YM]^{-1}[P]$$

où

$[P]$ désigne le vecteur gradient de l'énergie qui présente les forces exercées sur les atomes.

$[YM]$ est la matrice des dérivées secondes qui est indépendante des déplacements.

IV. RESULTAS ET DISCUSSIONS

Les résultats de simulation présentés dans cette partie correspondent au cas du film CdTe/GaAs avec un substrat 10x10 à la température 365 °C et pour 10^6 événements. Le module de sortie permet de fournir les résultats de croissance, selon le besoin, sous trois formes :

A. Forme événementielle

Nous présentons ci-dessous un exemple de résultats numériques obtenus par notre simulateur.

MEVE	IS	NC	TC	OCC
2	60	2	0.56684691	1
2	58	2	0.56684703	1
2	26	2	0.56684756	1
2	11	2	0.56684756	1
35	75	3	0.56684762	19
41	75	3	0.56684762	2
2	96	2	0.56684876	1
2	7	2	0.56685001	1
2	25	2	0.56685031	1
2	50	2	0.56685036	1
2	93	2	0.5668512	1
2	17	2	0.56685185	1
2	90	2	0.56685597	1
2	36	2	0.56685656	1
2	5	2	0.56685817	1
2	56	2	0.56685835	1
7	85	2	0.56685847	1

Fig. 2. . Exemple de fichiers des résultats numériques d'une simulation.

Où **MEVE** désigne l'événement en cours, **IS** représente le site de réalisation de l'événement et **OCC** son occupation, **NC** est le numéro de la couche et **TC** désigne le temps de réalisation de l'événement.

Nous remarquons en particulier que les événements se font sur plusieurs couches selon la configuration et les contraintes locales. L'aspect dynamique de la croissance est exprimé par **MEVE** est égale **1** ou **2** qui représente les diffusions des atomes à la surface du dépôt.

B. Forme statistique

Sur l'histogramme de la Fig.3 nous avons tracé la proportion des événements c'est-à-dire le nombre d'un type d'événement par rapport au nombre total d'événements, pour une température de 365°C.

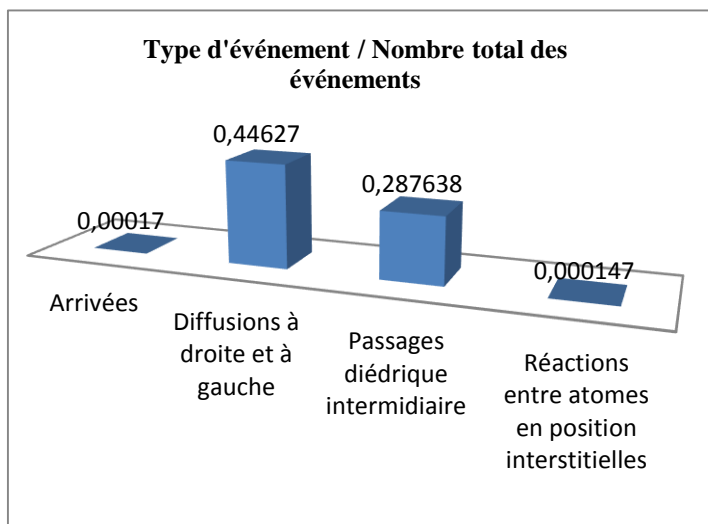


Fig. 3. Les statistiques des événements produits en surface

Pour 10^6 événements, 170 atomes provenant de la phase gazeuse sont présents sur le substrat 10×10 soit en positions normales (diédriques) soit en positions interstitielles selon les configurations locales. Ces atomes forment des petits amas sur la surface et croissent en îlots au fur et à mesure que la simulation avance en temps et en événements. L'importance des diffusions des atomes est la formation des amas et le maintien des surfaces planes pendant la croissance. Comme il est illustré sur la figure **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, il existe 446270 diffusions à gauche et à droite et 147 réactions par rapport au nombre total d'événements (10^6 événements). Ces réactions correspondent aux interactions entre atomes en positions interstitielles. Nous avons introduit ces réactions dans le but de créer des défauts ponctuels, qui par réarrangements, peuvent aboutir à des défauts étendus (germes de dislocations) d'interfaces qui sont efficaces pour la relaxation des contraintes dans les couches déposées [4].

C. Forme morphologique

Les simulations basées sur ces modèles ont permis d'étudier la rugosité de la surface et l'évolution de la configuration des couches par germination et formation d'amas.

1) Morphologie de la surface

A l'aide des éléments structuraux de base : les terrasses, les marches, les crans et les adatoms, on peut décrire la

morphologie d'une surface cristalline. Expérimentalement, une surface coupée perpendiculairement à un axe cristallographique de haute symétrie, a souvent tendance à s'organiser en terrasses atomiquement plates, à l'équilibre thermodynamique [17].

Dans la représentation graphique des clusters, nous avons utilisé diverses couleurs afin de mieux représenter la position de chaque atome dans le cluster :

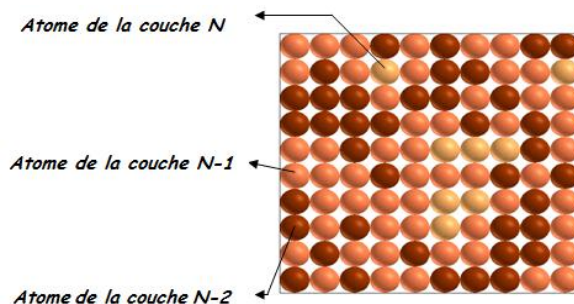


Fig. 4. Technique de la représentation graphique des résultats obtenus

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** représente la morphologie d'un cluster obtenu par notre programme de simulation. Ce résultat a été obtenu dans les conditions suivantes : Flux=0.5ML/S, T=365 °C et un substrat 10×10 .

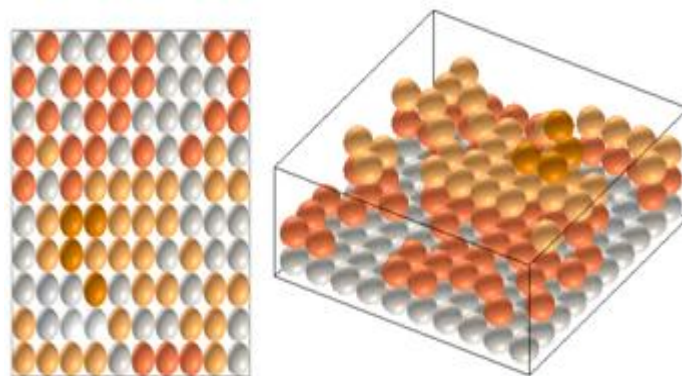


Fig. 5. Morphologie d'une surface de (10×10 atomes) après la simulation de Monte Carlo Cinétique

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que la surface se compose de plusieurs îlots de tailles différentes et sont plutôt très rapprochés les uns des autres. Avec le dépôt, la taille et le nombre des îlots augmentent et on voit apparaître des facettes (111) sur lesquelles qui des atomes très contraints sont très mobiles.

2) Rugosité de la surface

La mesure de la rugosité de la surface est l'écart à la moyenne des fluctuations de la hauteur, à laquelle le cristal croît dans une région locale donnée. Elle est définie par [4] :

$$r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_i(t) - \langle h(t) \rangle)^2}$$

Où N est le nombre de sites du cristal, $h_i(t)$ la hauteur des atomes sur le site i et $\langle h(t) \rangle$ la hauteur moyenne des atomes exprimée en monocouche, donné par : $\langle h(t) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i(t)$

Nous avons effectué une simulation à $T = 365^\circ\text{C}$. Nous présentons dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** la variation de la rugosité de la surface en fonction du nombre d'événements avec une taille du substrat de dimension (10×10) .

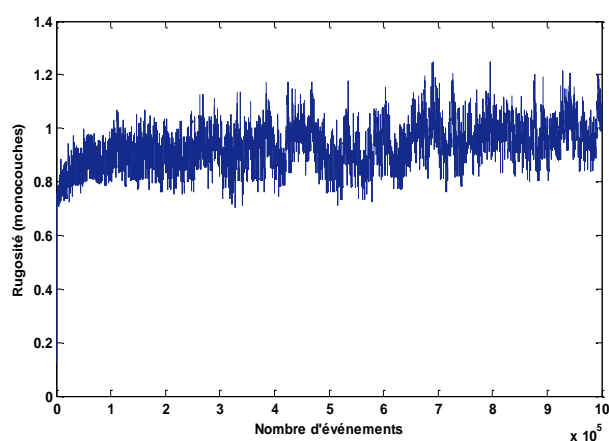


Fig. 6. La rugosité de la surface en fonction du nombre d'événements

A cette température, nous constatons que la rugosité augmente au cours de la croissance, au fur et à mesure que les atomes se déposent et puis se stabilise vers un maximum, ce qui se traduit par la formation des îlots. Nous remarquons que lors du remplissage des premières couches, les migrations se font des couches supérieures vers les couches inférieures plus stables. On peut avoir ce phénomène de migration si les interactions entre seconds voisins sont importantes et les contraintes sont faibles. La stabilité des couches inférieures provient de fait que nous avons utilisé dans nos simulations, une énergie de liaison entre atome du substrat et atome du couche déposée qui est la moyenne d'énergie de liaison entre ces atomes.

Concernant la couverture de trois premières couches déposées dans le cas de CdTe/GaAs à 365°C , pour voir la cinétique de remplissage des couches au cours de la croissance, nous constatons que lorsque la première couche déposée est à 70%, le taux de couverture de la deuxième couche est à 50% et celui de la troisième est à 4%. A ce stade des germes sont formés sur la seconde couche, la tendance est donc vers un mode de Frank-van Der Merwe. Dans ce mode, la croissance est bidimensionnelle (2D). Cependant comme l'énergie d'interaction atome-substrat diminue progressivement, la croissance tend à devenir tridimensionnelle avec la formation d'îlots. Nous pouvons

conclure que dans notre cas, dépôt de CdTe/GaAs, le mode de croissance est un mode 3D, croissance mixte suivie par la formation d'îlots avec des facettes (111) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

V. CONCLUSION

En conclusion, nous avons présenté quelques résultats de simulation des premiers stades du dépôt de CdTe sur un substrat de GaAs. Le modèle de simulation tel qu'il a été décrit dans ce papier, est basé sur la méthode de Monte Carlo et sur le modèle énergétique (V.F.F). Ce dernier est nécessaire pour la détermination des déformations et des contraintes dans le substrat et dans les couches déposées. La technique de Monte Carlo nous a permis de gérer l'aspect aléatoire des événements en surface sur la base de la loi d'Arrhénius. Dans cette étude, nous avons pris en compte tous les processus de croissance : arrivée des atomes, diffusions le long de la surface, diffusions intercouches, évaporation et les réactions entre atomes en positions interstitielles tels qu'ils ont été décrits dans la référence [4]. Le travail se poursuit pour simuler des substrats plus larges et pour monter en couches et en nombre d'événements (10^6 à 10^8). L'objectif étant de mettre en évidence les défauts qui sont le résultat de la relaxation du substrat et des couches déposées et qui sont traduits les réactions entre atomes en positions interstitielles.

Références

- [1] H.Khachab , A.Yamani et A.Belghachi, "Modélisation de la reconstruction de la surface $\beta_2(2 \times 4)$ de GaAs(001) avec la méthode de Monte Carlo", J. Scientific Research , vol. 1, 2010
- [2] N. Fazouan ,E. Atmani , M. Djafari Rouhani and A. Esteve , " A Monte Carlo investigation of growth and characterization of heteroepitaxial thin films", vol. 517, pp. 6260-6263, 2009
- [3] D.M. Kazantsev, I.O. Akhundov, N.L. Shwartz, V.L. Alperovich and A.V. Latyshev, "Anisotropy in Ostwald ripening and step-terraced surface formation on GaAs(001): experiment and Monte Carlo simulation, Applied Surface Science", vol. 359, pp.372-379 2015
- [4] R.Malek, " Simulation de la croissance cristalline hétéroépitaxiale au delà du modèle solide sur solide : Observation des défauts ", 1997
- [5] A. C. Levi and K. Miroslav, J.Phys.Condens.Matter, vol. 9, p.p 299, 1997
- [6] G. Mazaleyrat , A. Estève ,L. Jeloica and M. Djafari-Rouhani , " A methodology for the kinetic Monte Carlo simulation of alumina atomic layer deposition onto silicon", J. Computational materials science, vol. 33, p.p74-82", 2005
- [7] Maxim A. Vasilenko, Igor G. Neizvestny, Nataliya L. Shwartz, " Formation of GaAs nanostructures by droplet epitaxy—Monte Carlo simulation", J. Computational Materials Science , vol. 102, p.p 286-292, 2014
- [8] F. Arnaud D'avitaya , "MBE –CBE " 1st Comett. Summer School on the film processing and characterisation. 1994
- [9] A. Madhukar and S.V. Ghaisas, J.Appl. Phys. Lett. Vol. 47, p.p 247-249, 1985
- [10] G. Cohen Solal, F. Bailly and M. Barbe, J.Appl. Phys. Lett. Vol. 49 (22), 1986.
- [11] J. Dalla Torre, M. Djafari Rouhani, b, G. Landa , A.M. Rocher , R. Malek and D. Estève, " Dislocation half loop formation in GaSb/(001)GaAs islands and steps role: a Monte Carlo simulation", vol. 336, p.p 277-280, 1998
- [12] Chunwang Zhao, Shumin Wen, Qingyu Hou, Wei Qiu, Yongming Xing, Shaojian Su and Buwen Cheng, "Strain status of epitaxial Ge film on a Si (001) substrate", vol. 90, p.p 87-92, 2016
- [13] A. Pascal, "Evolution morphologique des nanostructures Si1-xGex pendant la croissance par EJM" ,Université de la Méditerranée-Aix-Marseille II, 2003
- [14] F.Tinjoux, "Mécanismes de formation des boîtes quantiques semiconductrices, application aux nanostructures II-VI et étude de leurs propriétés optiques", Université Joseph-Fourier-Grenoble I 2003M. Young,

The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

- [15] M. Djafari Rouhani ,R. Malek, S. Kersulis and V. Mitin , “Computer simulation of the growth of heterostructure systems”,vol. 28,p.p 1043-1049 ,1997

- [16] A. Amrani , K. Ferdjani, M. Derbal, M. Sidoumou et K. Melzi, “Observation des défauts ponctuels par simulation de la croissance hétéroépitaxiale du Te/GaAs(100) ”,2009

- [17] G.Cappello, “ STABILISATION ET MORPHOLOGIE DE LA SURFACE DE SYMÉTRIE CINQ DU QUASICRISTAL AL70 PD20 MN10”, UJF Grenoble-1,1999

Commande et supervision des installations à sources renouvelables (Photovoltaïque,...)

ATMANE Ilias, KASMI Khalil, MALEK Rachid

Université Mohamed Premier, Faculté des Sciences, Department of Physics, Team: Matériaux, Electroniques et Energies Renouvelables, Laboratory LETSER, Oujda 60000, Morocco.

E. mail : iatmane@gmail.com khkassmi@yahoo.fr rch_malek@hotmail.com

Résumé - Dans ce papier nous analysons la fiabilisation des installations photovoltaïques en termes de production de l'énergie électrique produite et intervention à distance. Nous proposons un système qui permet de contrôler le fonctionnement à distance par SMS. Ce système est basé sur l'utilisation et la programmation d'un microcontrôleur qui envoi et reçoit, via une liaison RS232, des commandes de suivi et d'alerte par le modem 3G. Les premiers résultats montrent le bon fonctionnement de chaque bloc du système mis en place et la communication entre ce système et l'opérateur via SMS, en temps réel, pour alerter un éventuel dysfonctionnement, marche, arrêt et transfert des données de l'installation (courant, tension, puissances, rendement,...).

I. INTRODUCTION

L'énergie solaire est l'une des solutions qui contribue de manière significative à l'approvisionnement énergétique viable. Elle devient attrayante à la technologie d'émergence due à plusieurs avantages distinctifs tels que la simplicité de l'attribution, fiabilité élevée, diminution du coût et l'absence du bruit lors de leurs usages. Les installations à énergies renouvelables (Photovoltaïques (PV),...) sont l'alternative qui assure la production de l'énergie électrique dans les milieux isolés et éloignés du réseau de distribution électrique. L'activation/désactivation des installations ainsi que leurs suivis se faisait manuellement vu la distance et la difficulté d'accès. Pour remédier à ceci, plusieurs solutions ont été proposées :

- En 2011, X.Xiaoli et autres [1] ont proposé une télésurveillance et contrôle de système PV basés sur la technologie de Zigbee, mais malgré l'efficacité de cette méthode, elle ne peut pas faire face à des distances énormes.
- Dans [2], les auteurs ont présenté une surveillance à distance et le contrôle du système PV basé sur la technologie Wi-Fi pour les applications domestiques. Cette solution est plus intéressante vu qu'elle offre un haut débit de données d'environ 54 Mbps par rapport à ZigBee (250Kbps). Mais, cette solution ne travaille que dans une architecture de réseau local.
- En [3-7-8] plusieurs systèmes ont été faits pour acquérir, à distance, les grandeurs courant, tension, éclairage, puissance... en utilisant le module GSM. Mais ces systèmes se limitent juste à l'envoi des grandeurs, donc aucun contrôle de la station à distance.

Dans ce cadre, nous proposons la fiabilisation, la télésurveillance et le contrôle des installations PV en se basant sur le GSM. Ceci permet d'une part de remédier aux problèmes rencontrés dans la littérature, et d'autres parts, une

gestion intelligente et instantanée de la production de l'énergie électrique par ces installations renouvelables.

II. ARCHITECTURE GLOBALE

L'architecture globale, du système de control et de supervision qui fait l'objet de notre réalisation, est constituée par trois modules (Figure 1) :

- Générateur PV,
- Un bloc de puissance qui joue le rôle d'un interrupteur entre le générateur PV et la charge,
- Un module Electrique qui convertit la tension délivrée par le panneau en 5V.
- Un module Informatique qui reçoit, d'une part, les commandes envoyées par SMS pour :
 - activer/désactiver la station,
 - envoyer les grandeurs mesurées (courant, tension, puissance ...).
 - détecter la panne de la station et envoi l'alerte par SMS au responsable.
- Un module Télécom qui transmet l'alerte aux responsables via un modem 3G [9] et acquies les commandes d'activation/désactivation de la station ou bien celle des grandeurs électriques (courant, tension, puissances, rendements,...).

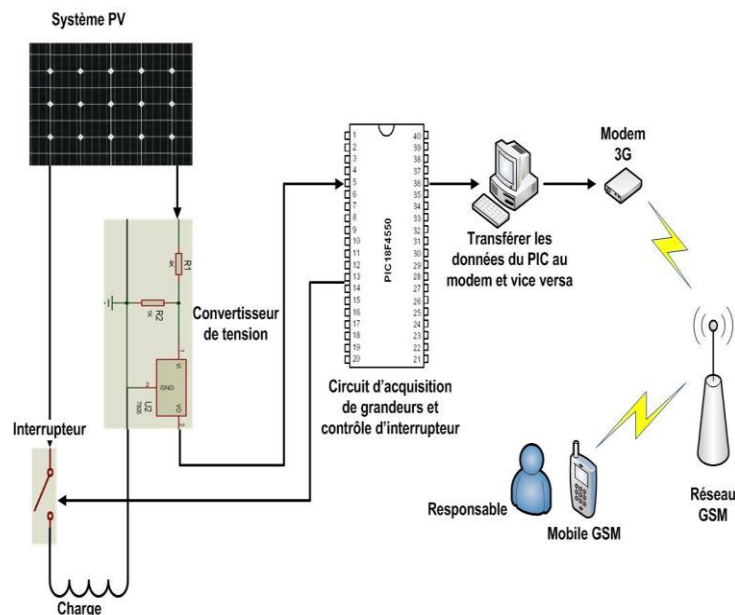


Figure 1 : Schéma de l'architecture globale du système PV muni d'un système de control et de supervision.

III. FONCTIONNEMENT DE SYSTEME DE CONTROL

A. Module informatique

L'algorithme de la figure montre les étapes d'acquisition et de control de l'installation PV en utilisant le PIC 18F4550 [5]. Les différentes commandes seront envoyées, via un câble RS232 [6], au PC qui va les transmettre au modem 3G relié à ce dernier via le port USB.

Pour communiquer avec les différents blocs de l'installation (Panneaux PV, charge,...), nous avons :

- utilisé l'une des PINs A/D du PIC comme entrée pour acquérir la tension, et programmé, ce dernier, pour envoyer les commandes adéquates pour signaler la « mise en marche » ou bien « la panne » de la station suivant la valeur acquise.
- programmé le PIC pour qu'il reçoive des messages de commande pour mettre en marche/arrêt de la station PV ou bien envoyer les grandeurs mesurées. Pour cette dernière, nous avons programmé une autre PIN A/D comme entrée analogique pour mesurer le courant, la tension et la puissance.

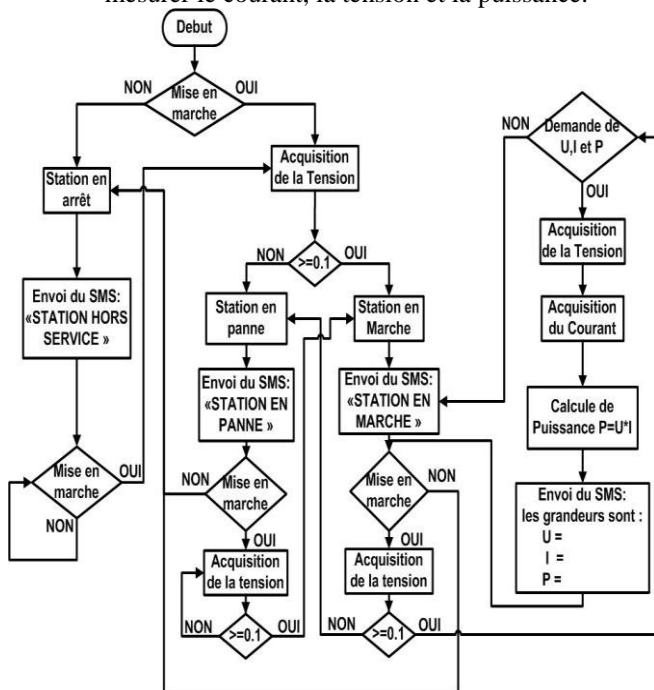


Figure 2 : Algorithme d'acquisition et de control de l'installation PV en utilisant le PIC 18F4550.

B. Module Telecom

Pour qu'on puisse communiquer avec un modem 3G, il nous faudra des commandes compréhensibles de types AT ou Hayes [4]. Ces commandes sont toujours préfixées par AT. En général, ces deux codes (AT+ commande) sont utilisés pour synchroniser le modem à la bonne vitesse. Les commandes agissent sur des registres internes qui sont manipulables directement.

L'envoi d'un message AT s'effectue suivant la figure 3 :

- Pour l'envoi d'un message SMS, notre programme envoie une séquence de commandes AT qui doivent être effectuées avec succès.
- AT+CMGF=1 : Définition du Format de Message, il y a deux types de messages
0: PDU (Protocol Description Unit) Mode
1 : mode texte
- AT+CNMI = X,X,X,X,X : Définition du type de notification lors de la réception d'un nouveau message. Dans notre cas nous avons choisi la réception directe du message sur le port RS232. Le choix du mode de réception se fait en remplaçant les 'X' par les chiffres adéquats.
- AT+CMGS : Cette commande permet l'envoi d'un SMS, la syntaxe de la commande est :
AT+CMGS=["numéro de téléphone"<CR>message<CTRL+Z/ESC>]
Exemple :
AT+CMGS = "+*****" <CR>
"WARN : STATION PV EN PANNE " <CTRL+Z/ESC>

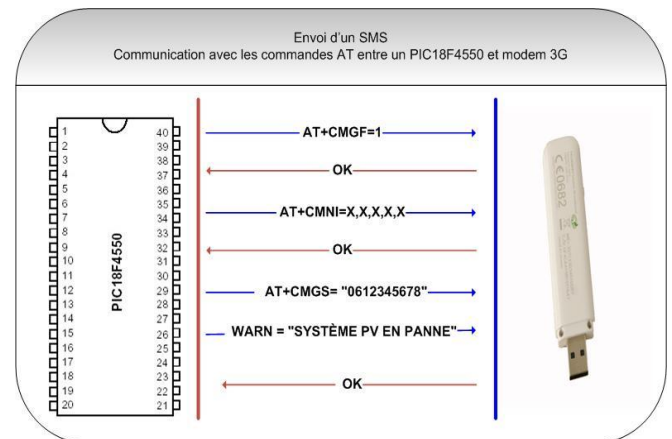


Figure 3 : Envoi d'un message SMS via les commandes AT.

IV. RESULTATS

Dans ce paragraphe, nous présentons les premiers résultats de fonctionnement de notre système lorsque le PC communique avec le PIC via une liaison RS232. Pour ce faire, le composant UART envoie notre message en le coupant en trame de 8bits comme le montre le schéma de la figure 4. La totalité de notre message sera celui représenté sur la figure 5.

Quand la station est en arrêt, le programme attend la commande d'activation en vérifiant le numéro de téléphone (si le message vient vraiment du responsable) (bloc (A) figure 6), et en lisant le contenu du message pour voir s'il s'agit d'un message d'activation ou d'autre commande (bloc (B) figure 6). Une fois ces vérifications sont faites, le programme active

automatiquement la station et envoi un message qui confirme son activation (bloc (C) figure 6).

Une fois la station activée, le programme passe à la vérification de son bon fonctionnement. S'il détecte une défaillance (Figure 7), il envoi directement un message d'alerte pour avertir le responsable afin de réparer le problème. Le retard de 9 ms est dû au temps de conversion A/D. La réparation de la station sera suivie par l'envoi d'un message qui va l'affirmer (Figure 8).

Comme l'activation de la station, la désactivation suit les même démarche en passant par la vérification du numéro de téléphone (bloc (A) figure 9), la lecture de la commande de désactivation envoyée dans le message (bloc (B) figure 9) et l'envoi du message du confirmation de désactivation de la station (bloc (C) figure 9).

Le responsable peut aussi acquérir les grandeurs (courant, tension, puissance) dans le cas où la station est en marche.

Dans le cas où la station est en arrêt la seule commande tolérer par notre système est la commande de la mise en marche puisque la vérification du disfonctionnement de la station ainsi que la demande de grandeur sera inutile tant que la station est en arrêt.

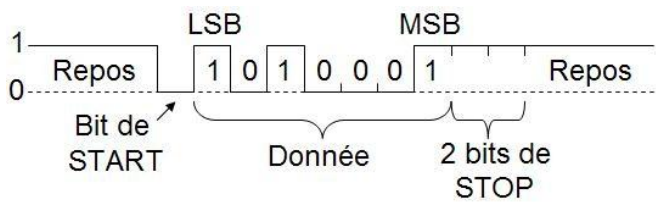


Figure 4 : Format de la trame UART.

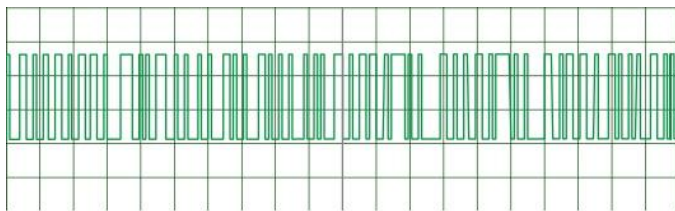


Figure 5 : Format du message envoyé

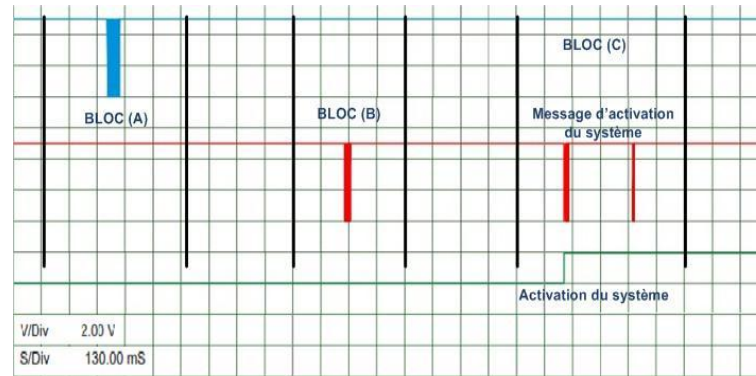


Figure 6 : Envoi du message « station en marche » une fois la station activée.

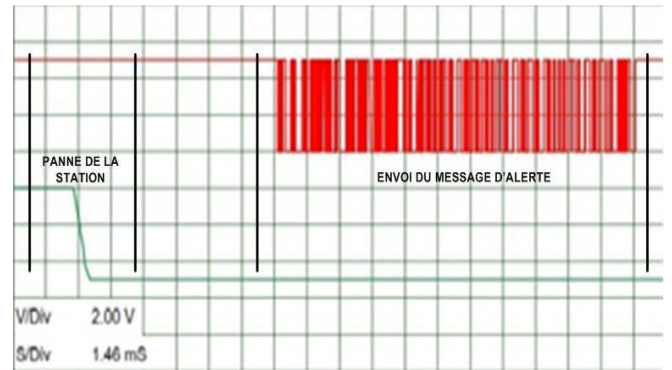


Figure 7 : Envoi du message d'alerte une fois la panne détectée.

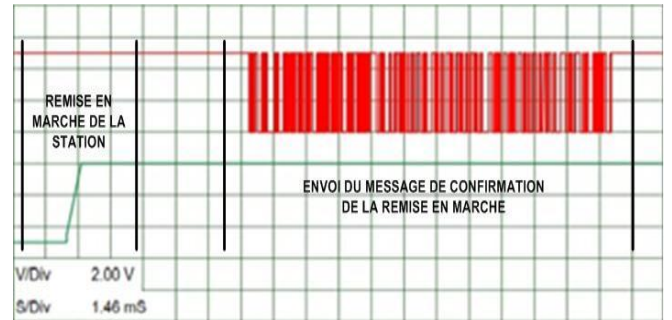


Figure 8 : Envoi du message qui confirme la réparation de la station.

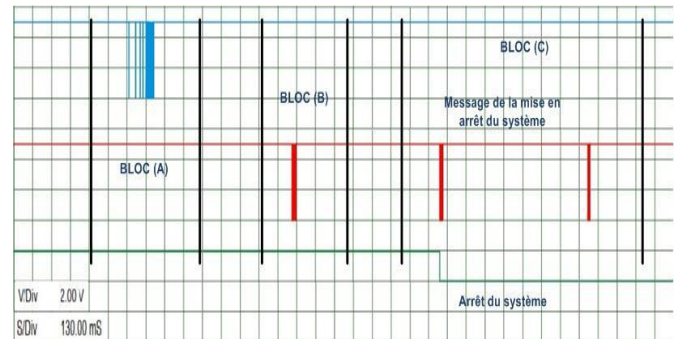


Figure 9 : Envoi du message qui confirme l'arrêt de la station.

V. CONCLUSIONS

Dans ce papier, nous avons proposé une nouvelle stratégie de commande et supervision des installations à sources renouvelables (Photovoltaïque,...) par SMS. Les premiers résultats montrent le bon fonctionnement de chaque bloc du système et le control des installations à distance : marche/arrêt et acquisition des grandeurs électriques (tensions, courants, puissances, rendement,...).

En perspective, ce travail sera poursuivi et validé sur une installation PV de 15 kW, située à 120 km du laboratoire. Ensuite, nous étendons le système de supervision à l'usage de l'Internet qui est caractérisé par des avantages très intéressants pour les grandes distances (rapidité, coût...).

Références

- [1] Xu Xiaoli, Qiao Daoe, "Remote Monitoring and Control of Photovoltaic System Using Wireless Sensor Network", International Conference on Electric Information and Control Engineering (ICEICE), Wuhan, 15-17 April 2011, pp. 633 – 638.
- [2] M.A. Ahmed, K. Young-Chon, "Communication Networks of Domestic Small-Scale Renewable Energy Systems", 4th International Conference on Intelligent Systems Modelling & Simulation (ISMS), Bangkok, 29- 31 Jan. 2013, pp. 513 – 518.
- [3] Ben Belghith, O., & Sbita, L. (2014, March). Remote GSM module monitoring and Photovoltaic system control. In *Green Energy, 2014 International Conference on* (pp. 188-192). IEEE.
- [4] www.sparkfun.com/datasheets/Cellular%20Modules/AT_Commands_Reference_Guide_r0.pdf, 2006.
- [5] PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet, Microchip, ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf. Date d'accès: 16/02/2016
- [6] Application Note 83 Fundamentals of RS-232 Serial Communications, <http://www.pacontrol.com/download/RS232.pdf>, Date d'accès: 23/01/2016.
- [7] Shariff, F., Rahim, N. A., & Ping, H. W. (2013, November). Photovoltaic remote monitoring system based on GSM. In *Clean Energy and Technology (CEAT), 2013 IEEE Conference on* (pp. 379-383). IEEE.
- [8] Ahmad, T., Hasan, Q. U., Malik, A., & Awan, N. S. (2015). Remote Monitoring for Solar Photovoltaic Systems in Rural Application Using GSM Network. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 16(5), 413-419.
- [9] Modem 3G HUAWEI datasheet, www.docfoc.com/huawei-em820w-hspa2b-pc-embedded-module-at-command-interface-specification-28v100r001022c. Date d'accès: 03/03/2016

Analysis of the thermodynamic properties of the chemically modified agarose

A. Benatmane

Physics Department

Laboratory of Theoretical Physics of Particles and

Modeling, Faculty of Sciences.

Oujda, Morocco

Physique_phy@hotmail.com

M. Benelmostafa

Physics Department

Laboratory of Theoretical Physics of Particles and

Modeling, Faculty of Sciences.

Oujda, Morocco

m.benelmo@gmail.com

1. Abstract— In this study, we study the properties thermodynamics of two agaroses modified chemically M_1 and M_2 compared with the pure agarose. It is to follow the process of gelation through the calculation of the propellers function of the temperature rate. Indeed, it is shown that the conformation of the helix is greater in the modified agarose gel M_1 compared to M_2 agarose modified at the same temperature. This was followed by a study of the thermal hysteresis confirming the reversibility of both types of gels. Finally, we studied the variation of the entropy and the energy of formation of the hydrogen bond from the temperature to understand the influence of the OCH_3 and molecular weight on the gel formation.

Keywords— *Helix-coil transition; Statistical mechanics; Chemically modified agarose sample; Thermal hysteresis; Cosolvents; Thermoreversible gelation.*

I. INTRODUCTION

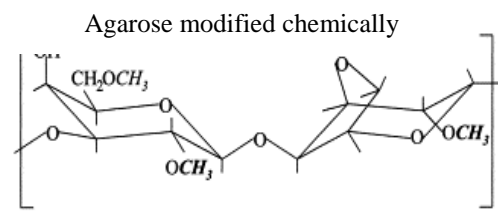
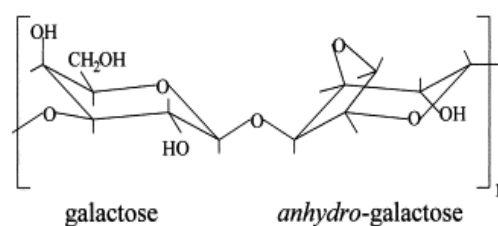
Agarose is a natural polymer extracted from red marine alga. It is a polysaccharide frequently used in molecular biology for the separation of large molecules, in particular the DNA, by electrophoresis [1,2,8].

Agarose dissolves in cold water, and the aqueous solution undergoes a thermoreversible sol-gel phase transition with thermal hysteresis [11]. The structure of the agarose is maintained by hydrogen bonds and may be disrupted by heating to a liquid state. The melting temperature is different from the temperature of gelation, in effect the gelation temperature of the agarose is in the order of 40°C and its melting temperature is about 90°C [3]. The gelation of the biopolymer, that has been studied, among others, via calorimetry and a statistical study corresponds to the transformation of the macromolecular chains in coil form (diluted) in a helical conformation (gel) [1,8].

In this work, we complement the statistical study which was devoted to the pure agarose initially to realize chemically modified agarose. We therefore, approach the process of gelling of this biopolymer in a series of binary solvent to describe the helix-coil transition to better understand the various parameters associated with this transition.

Our study was conducted on two types of agarose samples: normal agarose M_0 sample and the samples M_0 , M_1 agarose

chemically modified. Both modified agarose samples used in this study have different degrees of modification: the hydrogens of the hydroxyl OH groups are replaced at random by OCH_3 groups on the sites listed below:



Molecular weights were determined by measuring the intrinsic viscosity at a temperature of 35°C . dosing methyl is obtained by hydrolysis of agarose. the samples have the following characteristics:

M_0	$M_w=1,12 \times 10^5$	$C_{12}H_{18}O_9$
M_1	$M_w=9,87 \times 10^4$	$C_{12}H_{17,46}(CH_3)_{0,54}O_9$
M_2	$M_w=1,03 \times 10^5$	$C_{12}H_{17,32}(CH_3)_{0,68}O_9$

This modification definitively removes the possibility of a hydrogen bond, while promoting the polarization of covalent bonds also leads to the appearance of fractional electric charges on different atoms. The groups OCH_3 may be crosslinked eventually leading to a network structure. The formation of a gel of agarose modified results from the combination of physical and chemical gelation [1,4].

II. THE STATISTICAL MODEL STUDIED

In this work, we made a statistical analysis of the molecular conformation of chemically modified agarose. In this study, We consider a macromolecular chain consisting of N units

(monomers) linked together, each unit can exist in two states: either the helical state (h) - or the coil state (p) [5,6].

To simplify, we can consider two statistical assumptions:

- We have a mixture in a chain of states h and c in variable proportions: each chain is composed of n units in the helix form or coil form.
- Each macromolecular chain is either entirely in the form of coil units (c) or entirely in the helix units (h). We then represent symbolically the only two possible forms [10].

The probability of finding the coil states (u) and helix state (w) are respectively defined by [6]:

$$u = \exp\left(-\frac{G(c)}{RT}\right)$$

And

$$w = \exp\left(-\frac{G(h)}{RT}\right)$$

Where G(h) and G(c) are the Gibbs free energy corresponding to configuration h and c.

The equilibrium constant of the reaction of transformation of a coil unit into a helical unit is given by:

$$s = \frac{u}{w} = \exp\left(-\frac{G(p) - G(h)}{RT}\right) = \exp\left(\frac{\Delta G_{c \rightarrow h}}{RT}\right)$$

Here the statistical weights have been normalized with respect to the all-coil states. The physical behavior of this assignment is as follows: The hydrogen bond determines the stability of the helix and hence:

$$w \propto \exp\left(-\frac{E_H}{RT}\right)$$

With E_H being free energy of formation of the hydrogen bond.

Introducing the change in enthalpy ΔH associated with the transition helix-coil transition which can be measured by calorimetry, we then assume that s is a function of the temperature that obeys a law of the van't Hoff type [9]:

$$\frac{d \ln s}{dt} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

By integration, we have:

$$\ln s = \frac{\Delta H}{RTT_i} \Delta T$$

Where $\Delta T = T - T_i$ and The transition temperature T_i is defined by: $s = 1$

In the case of the first hypothesis of a random mixture of coil and helix states, the total partition function for the chain is written as [6]:

$$Z(n, T) = \sum_{n_h, n_p} \exp(-G_{tot}(n_h, n_p) / RT) = \sum_{n_h, n_p} \prod u w$$

$G_{tot}(n_h, n_c)$ is the total Gibbs free energy of the chain in a configuration with n_c residues in the coil state and n_h in the helical state $n = n_h + n_c$.

Using the above expressions, we rewritten the partition function in the form [5]:

$$Z(n, T) = u^n \left(1 + \frac{u}{w}\right) = (u + w)^n$$

The ratio of helix χ is defined as the number of residues in helix conformation by the total number of residues in solution.

$$\chi = \frac{\langle n_h \rangle}{n} = \frac{w}{n} \frac{\partial \log Z}{\partial w}$$

Finally:

$$\chi = \frac{s}{s + 1}$$

For the second hypothesis, that the chain with two states, the form of Z (n, T) is extremely simplified, and it is written as [6]:

$$Z(n, T) = u^n + w^n = u^n (1 + s^n)$$

Therefore

$$\chi = \frac{1}{n} \frac{nw^n}{u^n + w^n} = \frac{s^n}{1 + s^n}$$

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

1. Comparison of fraction of helix between pure agarose and agarose chemically modified.

As a first step, we made a comparative statistical study of the molecular conformation of chemically modified agarose and pure agarose. This comparison consists of calculating the fraction of the two types of agarose. The fraction of helix contained in agarose for different temperature values with a worthless fraction of DMSO is shown in Figure 3 and via all the experimental results obtained in these studies are summarized in Tables 1 and 2.

Table 1. The fraction of helix according to the temperature variation of the agarose modified chemically for two processes: gelation and melting

ΔT (K)	f_h (fus)	f_h (gel)
- 73,5	0,992	0,948
- 63,5	0,983	0,926
- 53,5	0,965	0,894
- 43,5	0,931	0,848
- 33,5	0,874	0,783
- 23,5	0,789	0,694
- 13,5	0,675	0,582
- 3,5	0,546	0,453
6,5	0,417	0,324
16,5	0,305	0,210
26,5	0,216	0,125
36,5	0,151	0,0683
46,5	0,105	0,0346
56,5	0,0738	0,0164
66,5	0,0515	0,0072

Table. 2 The fraction of helix according to the temperature variation of the pur agarose for two processes: gelation and melting

ΔT (K)	f_h (fus)	f_h (gel)
- 42,7	0,998	0,991
- 32,7	0,993	0,972
- 22,7	0,967	0,910
- 12,7	0,867	0,731
- 2,7	0,594	0,405
7,3	0,268	0,135
17,3	0,0897	0,0321
27,3	0,0276	0,0063
37,3	0,0086	0,0010

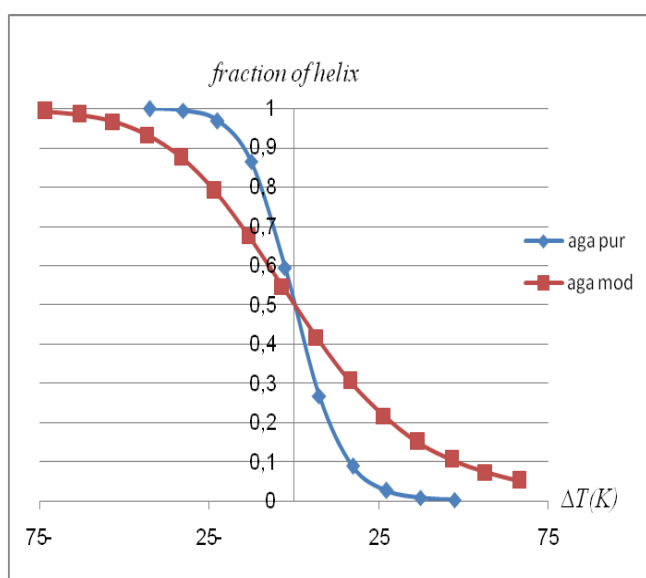


Figure 1. The variation of the fraction of helix according to a size of ΔT for a size of 366 residues and a concentration in DMSO: $f_{DMSO}=0\%$.

At low temperatures, the fraction of helix increases to a maximum value. On the other hand for high temperatures the fraction of helices decreases to a minimum value. The fraction of the variation of helix according to ΔT for a size of 366 residues and a concentration in DMSO.

The analysis for the two systems shows that the process of gelation of the modified agarose is significantly lower than that of the pure agarose. This decrease is explained by the fact that the OH groups are replaced by OCH_3 groups. This change eliminates the possibility of formation of hydrogen bonds. Thus OCH_3 destabilizes the helical structure and behaves like denaturing hydrogen bonds.

2. study of chemically modified samples agarose

In this section, we discussed the merger of gelation process for both agarose echatillions chemically modified M_1 and M_2 through a thermodynamic study to describe the statistical helix-coil transition. The Figure 2 shows the behavior of the fraction of propellers as a function of temperature variation for these two samples. and via all the experimental results obtained in these studies are summarized in Tables 3 and 4.

Table 3 : The fraction of helix for two samples M_1 and M_2 for the melting process.

ΔT (K)	χ (M_1)	χ (M_2)
-73.5	0.98899843	0.90765273
-63.5	0.97689443	0.87012878
-53.5	0.95448969	0.82432911
-43.5	0.91606163	0.77102618
-33.5	0.85567962	0.71180461
-23.5	0.77006669	0.6488551
-13.5	0.66214451	0.58463112
-3.5	0.54220194	0.52147639
6.5	0.42431365	0.46133112
16.5	0.32027042	0.40557636
26.5	0.23589355	0.35501592
36.5	0.17143904	0.30995467
46.5	0.12404045	0.27032209
56.5	0.08991536	0.23579989
66.5	0.06557307	0.20593056

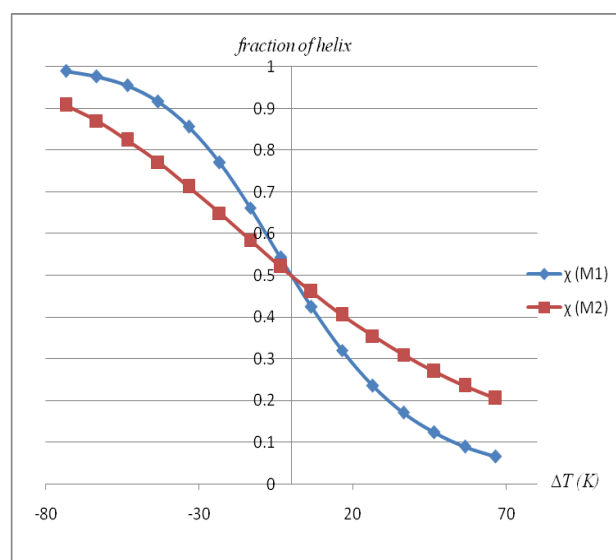


Figure2. The variation of the fraction of helix according to a size of ΔT for a size of 366 residues for two samples M_1 and M_2 for the melting process.

Table 4: The fraction of helix for two samples M_1 and M_2 for the gelation process.

$\Delta T(K)$	$\chi(M_1)$	$\chi(M_2)$
66.5	0.06557307	0.33741931
56.5	0.08991536	0.35711154
46.5	0.12404045	0.37836482
36.5	0.17143904	0.40127255
26.5	0.23589355	0.42591651
16.5	0.32027042	0.45235957
6.5	0.42431365	0.48063656
-3.5	0.54220194	0.51074315
-13.5	0.66214451	0.54262306
-23.5	0.77006669	0.57615411
-33.5	0.85567962	0.61113422
-43.5	0.91606163	0.64726925
-53.5	0.95448969	0.68416491
-63.5	0.97689443	0.72132608
-73.5	0.98899843	0.75816637

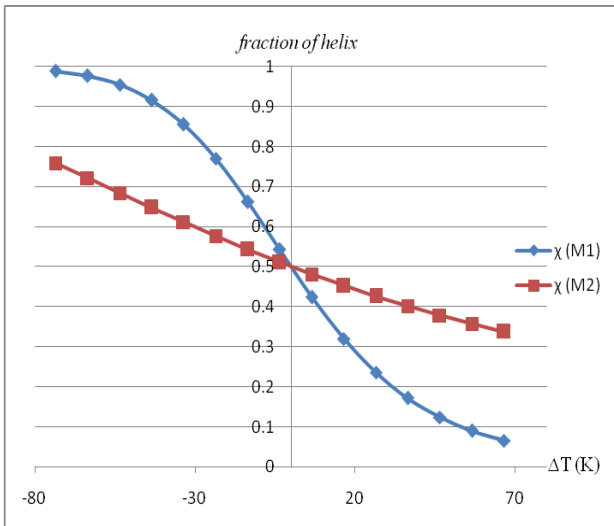


Figure3. The variation of the fraction of helix according to a size of ΔT for a size of 366 residues for two samples M_1 and M_2 for the gelation process.

Figures 2 and 3 show the helix-coil transition or transition order-disorder agarose gel chemically modified with $n = 366$ repeat units and setting the molar fraction of the two compounds at $f = 0.2$. These figures also show that the fraction of helices for the three systems depending on the temperature variation.

The decrease of the temperature variation leads to the increase of the value of the fraction of helix and also leads

to the decrease in entropy of the system. So we see that the fraction of helix of the modified M_2 agarose sample is lower than that of M_1 sample and also we see that the transition is more pronounced during the gelation and fusion (Fig 2 and 3). This difference is interpreted by the fact that the atoms of the M_2 sample does not have the ability to establish hydrogen bonds with their neighbors, that is, M_2 bonds are less cooperative with the atoms of the solution. For against, at low temperatures, the fraction propeller increases until a maximum value of the order of 98% for the gelation process (Fig 3) and 99% for the melting process (Fig 2).

The analysis for the two samples shows that the process of gelling and melting agarose modified M_2 is much lower than that of the modified agarose M_1 . This decrease is explained by the fact that the OH groups are replaced by OCH_3 groups. This modification eliminates the possibility of forming hydrogen bonds. Therefore, OCH_3 destabilises the helical structure and behaves like a denaturing hydrogen bonds. And the other way this reduction depends on the molecular weight of each sample.

3. Study of thermal hysteresis

Thermal hysteresis is a phenomenon in which a physical quantity depends not only on the temperature but also the thermal history of the material. It is the area between the curve of gelation and the melting curve of the gel. Therefore the gel is not in a state of thermal equilibrium [6,10].

Figures 4 and 5 show the variation of the helix rate of the agarose samples chemically modified (M_1 and M_2) according to the temperature variation for the two processes: gelation and fusion (experimental results: see Tables 2 and 3). We note that there is no reversibility when cooling: This is the phenomenon of thermal hysteresis.

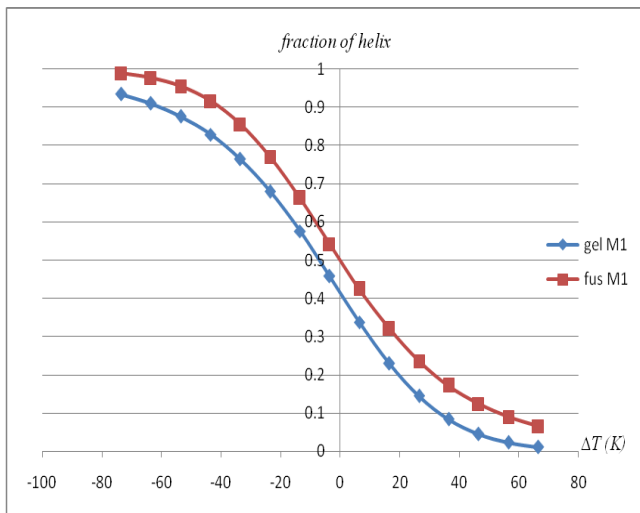


Figure 4. The variation rate of the helix according to the temperature during gelling and fusion for chemically modified agarose M₁.

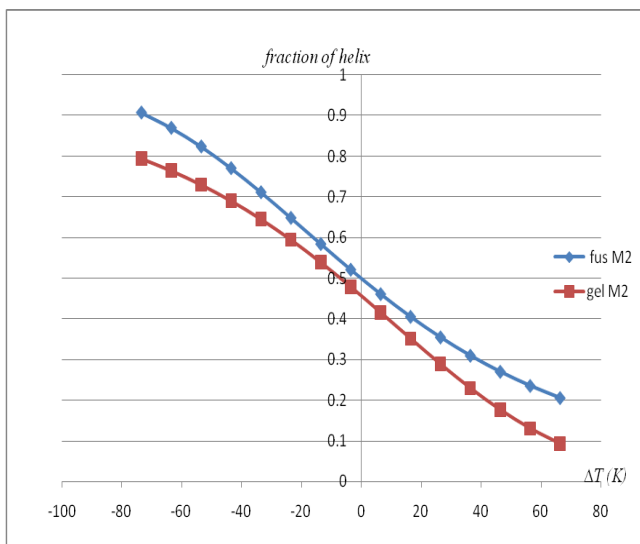


Figure 5. The variation rate of the helix according to the temperature during gelling and fusion for chemically modified agarose M₂.

When the temperature variation gradually decreases, the shaping ratio propellers increases for both processes to tend towards a constant maximum value, so that the melting rate and higher than that of gelation. One notices that is not reversible when cooling: This is the hysteresis (Fig 4).

For agarose chemically modified M₂ (Fig 5) the gelation time is small compared to that corresponding to the modified agarose M₁ (Fig 4). This difference amounts to the replacement of hydroxyl groups by OCH₃ OH groups and also by changing the molecular weight M_w of each sample. Therefore, OCH₃ groups do not have the ability to form bonds with other atoms solution for low temperature variations.

Developed extremum hysteresis disappears because of the influence of temperature and the ability to form hydrogen bonds within and between molecular.

4. The energy of formation of the hydrogen bond

The formation energy E_H hydrogen bonding is considered a thermodynamic parameters describing the transition pelote- helix. It is about the energy involved in the thermal fluctuations at room temperature. Figure 5 Shows the variation of this parameter (E_H) with temperature T for three agarose samples M₀ (pure agarose), M₁ and M₂ (agarose chemically modified) and the experimental results are shown in Tables 5.

The statistical weight *w* of the helix depends essentially on the potential energy of stabilization of this conformation:

$$w \propto \exp\left(-\frac{E_H}{RT}\right)$$

Table 5: The energy of formation of hydrogen bonds as a function of temperature.

T(K)	E _H (M ₁) (j/g)	E _H (M ₂) (j/g)	E _H (M ₀) (j/g)
403,15	0,710	2,416	0,049
393,15	0,963	2,748	0,132
383,15	1,319	3,139	0,376
373,15	1,824	3,599	1,100
363,15	2,540	4,140	3,169
353,15	3,544	4,776	8,108
343,15	4,926	5,519	16,602
333,15	6,767	6,384	27,355
323,15	9,117	7,381	38,946
313,15	11,968	8,520	50,765
303,15	15,257	9,806	62,637
293,15	18,884	11,235	74,520
283,15	22,746	12,803	86,405
273,15	26,757	14,496	98,290
263,15	30,855	16,298	110,175

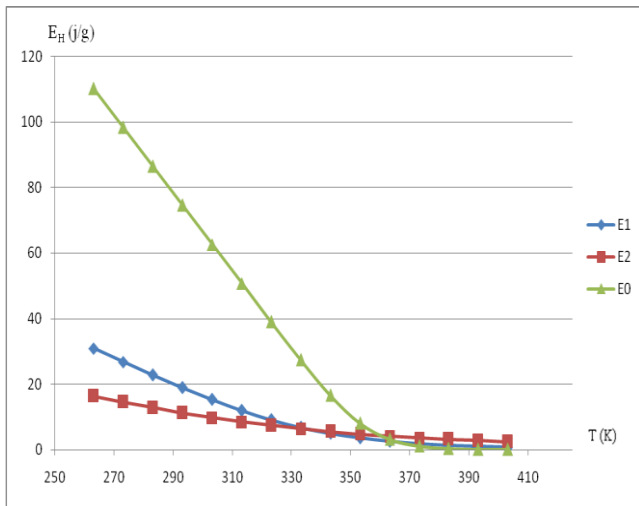


Figure 5. The variation of the energy of helix in function of temperature for three training samples M_0 , M_1 and M_2

The increase in temperature leads a linear decrease in the formation energy of the hydrogen bond E_H for the three samples M_0 , M_1 and M_2 , until a low value corresponding to $T = 354K$ for M_0 , $T = 320K$ for M_1 , $T = 330K$ for M_2 (fig. 5). This reduction also leads to decrease in helix system. By against, energy E_H takes values close to 0, it means that the helix is favored state (dominated).

After each sample transition temperature, the energy of hydrogen bond formation E_H remains constant and almost low in temperature. This means that the hydrogen bonds are less cooperative ie a higher degree of disorder in the system (helix state is favored).

The data in the figure shows that the energy of the helix formation present a sharp transition between the conformation of less hydrogen bond formation and the conformation of more hydrogen bond formation (helix state). We also see that the energy E_H of the normal agarose is significantly higher than that of agarose modified (M_1 and M_2). This increase depends on the change to the agarose such as OH groups are replaced by OCH_3 and also depends on the change in molecular mass M_1 and M_2 . This modification eliminates the possibility of forming hydrogen bonds. Therefore, the group OCH_3 destabilises the helical structure and behaves as a denaturing of hydrogen bonds.

Finally, the variation of energy of helix formation leads to a variation of the number of hydrogen bonding in the temperature. More the temperature is high; more the hydrogen bonding is reduced. Therefore the different helix forming according to variation of potential energy E_H .

5. The entropy of transition

We see that a transition occurs at $s=1$, or when half of the molecules are in the h and c states. This transition corresponds to a temperature called the transition

temperature T_t . This is the temperature where $\Delta G_{c \rightarrow h} = 0$. This gives

$$\Delta S_{c \rightarrow h} = \frac{\Delta H_{c \rightarrow h}}{T_t}$$

- for M_0 samples (normal agarose):

$$\Delta H_{c \rightarrow h} = -3,6 \text{ J/g} \text{ and } T_t = 351,95 \text{ K, so}$$

$$\Delta S_{c \rightarrow h} = \frac{-3,6}{351,95} = -10,22 \times 10^{-3} \text{ J.g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

- for M_1 samples (modified agarose):

$$\Delta H_{c \rightarrow h} = -0,4 \text{ J/g} \text{ and } T_t = 336,65 \text{ K}$$

$$\Delta S_{c \rightarrow h} = \frac{-0,4}{336,65} = -11,9 \times 10^{-4} \text{ J.g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

- for M_2 samples (modified agarose):

$$\Delta H_{c \rightarrow h} = -0,2 \text{ J/g} \text{ and } T_t = 331,35 \text{ K}$$

$$\Delta S_{c \rightarrow h} = \frac{-0,2}{331,35} = -6 \times 10^{-4} \text{ J.g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

We notice through the various values of the entropy variation, that the loss of the entropy is less marked as the chemical modification of the agarose increases.

VI. CONCLUSION

In this work, we studied the gelling agarose thermo-chemically modified M_1 and M_2 by a statistical thermodynamic analysis. The values of the variations of the enthalpy, entropy and potential energy of the helix show clearly the stabilization of the agarose gel is predominantly brought about by a large exothermic effect overcoming the loss of conformational entropy due to the intermolecular hydrogen bond. Also, the results clearly show the role of molecular weight in the thermo-gelling agarose chemically modified. As mentioned, this effect is not due to specific interactions which may exist between the water and the organic solvent. In fact, the CH_3 groups tend to support a positive electrical charge and can interact with the negatively charged oxygen. The organic solvent makes it possible to replace the missing hydrogen bonds between the OH groups.

Acknowledgment

The work presented in this paper was performed in the laboratory of theoretical particle physics and modeling of the Faculty of Science in Oujda. The authors wish to thank Professor M. BENELMOSTAFA for enlightening discussions and useful comments. They also wish to thank Professor M. DAHMANI for all his expert advice and permanent support.

References

- [1] M. Dahmani. Study of the thermoreversible gelation of polysaccharide gels: Case of Chemically Modified agarose. Thesis; N°:214/02;
- [2] E. Fernández, C. Mijangos, J. M. Guenet, M. T. Cuberes, D. López . New hydrogels based on the interpenetration of physical gels of agarose and chemical gels of polyacrylamide. *European Polymer Journal* 45 (2009) 932–939.
- [3] Manuela Elaine Heineck, Mateus Borba Cardoso, Fernando Carlos Giacomelli, Nadya Pesce da Silveira. Evidences of amylose coil-to-helix transition in stored dilute solutions. *Polymer* 49 (2008) 4386–4392.
- [4] M. Dahmani, M. Ramzi, C. Rochas, J. M. Guenet ; Thermoreversible gelation in aqueous binary solvents of chemically modified agarose; *International Journal of Biological Macromolecules* ; Volume 31, Issues 4–5, 15 January 2003, Pages 147–153.
- [5] S. C. Schmidler, J. E. Lucas, and T. G. Oas. Statistical Estimation of Statistical Mechanical Models: Helix-Coil Theory and Peptide Helicity Prediction. *Journa of computational biology*; Volume 14; Number 10; 2007; Pp. 1287–1310.
- [6] Pierre Papon, Jacques Leblond, Paul Herman Ernst Meije; *The Physics of Phase Transitions: Concepts and Applications*; 2nd Edition, p. 204–210, 2002.
- [7] B. H. Zimm AND J. K. Bragg. Theory of the Phase Transition between Helix and Random Coil in Polypeptide Chains. *Journal of chimecal physics*, 526-535(1959).
- [8] Mohamed Ramzi. Thermoreversible gelation of a biopolymer in binary solvent: case of agarose. Thesis, 1996.
- [9] A.Rodriguez, B. A. Fernandez, F. Moran, F. Montero. Thermodynamic parameters of the thermal transition of DNA: Theoretical correlations. *Studia Biophysica*; volume 113 (1986) number 3; p. 221231.
- [10] Alexandru Atitoaie, Radu Tanasa, Alexandru Stancu, Cristian Enachescu ; Study of spin crossover nanoparticles thermal hysteresis using FORC diagrams on an Ising-like model; *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Volume 368, November 2014, Pages 12-18.
- [11] Isao Yamamoto, Syuji Saito, Tetsuya Makino, Masuhiro Yamaguchi, Tadashi Takamasu; The anisotropic properties of magnetically ordered gel; *Science and Technology of Advanced Materials* 7 (2006) 322–326.

Thermodynamic reassessment of Gd–Ni system

Z. Rahou, K. Mahdouk, D. Moustaine, S. Otmani, R. Tamim

Laboratory of Thermodynamics and Energetics)

Faculty of Sciences, Ibn Zohr University

Agadir, Morocco

rahou.zakarea@gmail.com

Abstract— By means of CALPHAD (CALculation of PHase Diagrams) approach, the phase diagram and thermodynamic data of the Gd–Ni system were critically assessed. The Gd–Ni system contains four solution phases (liquid, face-centered cubic FCC_A1, body-centered cubic BCC_A2 and hexagonal close-packed HCP_A3) modeled with the Redlich–Kister polynomials and seven intermetallic compounds Gd₃Ni, GdNi, GdNi₂, GdNi₃, Gd₂Ni₇, GdNi₅ and Gd₂Ni₁₇, which are all treated as stoichiometric compounds. A set of self-consistent thermodynamic parameters describing various phases in this binary system was obtained. The phase diagram and thermodynamic quantities calculated from assessed parameters agree well with experimental data.

Keywords— Gd–Ni system, thermodynamic assessment, phase diagram, Calphad approach.

I. INTRODUCTION

The intermetallic compounds formed by rare earth (RE) elements and transition metals (TM) are of particular interest regarding to their potential usage as high value functional materials, such as permanent magnets [1,2] and hydrogen storage materials (reversible absorption of a large quantity of hydrogen gas at room temperature and nearly at atmospheric pressure) [3,4]. Moreover, many ternary Al–TM–RE systems form amorphous alloys with interesting mechanical properties [5,6] and some rare-earth/transition metal oxides are candidate materials for solid oxide fuel cells [7]. Furthermore, the rare-earth/3d transition metal intermetallic compounds were suggested as being promising candidates for room temperature magnetic refrigeration based on magneto-caloric effect (MCE) [8,9,10] who has attracted more attention for improved energy efficiency and environmental friendliness compared with traditional compression/expansion gas refrigeration [11,12].

On the other hand, the knowledge of thermodynamic data and phase diagrams is essential for developing and checking models of phase transformations, coupling thermodynamics with kinetics [13]. The purpose of the present work is (1) to evaluate recent experimental phase diagram and his relative thermodynamic data and (2) to provide a set of self-consistent parameters for calculation of the phase equilibria and thermodynamic properties in the Gd–Ni binary system using the CALPHAD method [14] and the Thermo-Calc software package [15].

II. THERMODYNAMIC MODELS

A. Pure elements

First, confirm that you have the correct template for your paper size. This template has been tailored for output on the A4 paper size. If you are using US letter-sized paper, please close this file and download the file “MSW_USltr_format”.

B. Maintaining the Integrity of the Specifications

The stable forms of the pure elements at 298.15 K and 1 bar were chosen as the reference states of the system. For the thermodynamic functions of the pure elements in their stable and metastable states, the phase stability equations compiled by Dinsdale [16] and adopted by the SGTE (Scientific Group Thermodata Europe) were used in the present work:

$${}^0G_i^\phi(T) = G_i^\phi(T) - H_i^{SER} = a + bT + cT \ln T + dT^2 + eT^3 + fT^{-1} + gT^7 + hT^{-9} \quad (1)$$

where is the molar enthalpy of the so-called “Standard Element Reference” (SER), i.e., the enthalpies of the pure elements in their defined reference state at 298.15 K and 1 bar; T is the absolute temperature; is the absolute molar Gibbs energy of the element i (i = Gd and Ni) with structure ϕ in a non magnetic states.

In thermodynamic study, absolute energy is not of importance, so the relative value of Gibbs energy is adopted in CALPHAD approach. The Gibbs energy of the element i, in its SER state is denoted by GHSE*R*_i, i.e.

$$GHSE_{Gd}^{SER} = {}^0G_{Gd}^{hcp}(T) = G_{Gd}^{hcp}(T) - H_{Gd}^{SER}(298.15K) \quad (2)$$

$$GHSE_{Ni}^{SER} = {}^0G_{Ni}^{fcc}(T) = G_{Ni}^{fcc}(T) - H_{Ni}^{SER}(298.15K) \quad (3)$$

C. Solution phases

The substitutional solution model was employed to describe the solution phases including Liquid, FCC_A1, BCC_A2 and HCP_A3. The molar Gibbs energy of the solution phase ϕ (ϕ = Liquid, FCC_A1, HCP_A3 and BCC_A2) can be expressed as:

$$G_m^\phi = x_{Gd} {}^0G_{Gd}^\phi + x_{Ni} {}^0G_{Ni}^\phi + RT(x_{Gd} \ln x_{Gd} + x_{Ni} \ln x_{Ni}) + {}^E G_m^\phi + {}^{mg} G_m^\phi \quad (4)$$

where G_m^ϕ is the molar Gibbs energy of a solution phase ϕ ; ${}^0G_i^\phi$ is the molar Gibbs energy of the element i ($i = \text{Gd}$ or Ni) with the structure ϕ in a non-magnetic state; x_i the mole fraction of component i , R gas constant, T temperature; ${}^E G_m^\phi$ the excess Gibbs energy, and ${}^{mg} G_m^\phi$ is the magnetic contribution to the Gibbs energy. The excess Gibbs energy of phase ϕ can be expressed by the Redlich–Kister polynomials [17] as:

$${}^E G_m^\phi = x_{Gd} x_{Ni} \sum_j {}^j L_{Gd,Ni}^\phi (x_{Gd} - x_{Ni})^j \quad (5)$$

here ${}^j L_{Gd,Ni}^\phi$ ($j = 0, 1, 2, \dots$) is the interaction parameter between elements Gd and Ni and is formulated as temperature dependent :

$${}^j L_{Gd,Ni}^\phi = a_j + b_j T + c_j T \ln T + d_j T^2 + e_j T^3 + f_j T^{-1} + g_j T^7 + h_j T^{-9} \quad (6)$$

where $a_j, b_j, c_j, d_j, e_j, f_j, g_j$ and h_j are model parameters to be optimized. In most cases, only the two first terms of the above equation are used.

D. Intermetallic compounds

All the intermetallic compounds α -Gd₃Ni, β -Gd₃Ni, GdNi, GdNi₂, GdNi₃, Gd₂Ni₇, GdNi₅ and Gd₂Ni₁₇ were treated as stoichiometric phases in the Gd–Ni binary system because no available experimental data reports the existence of an homogeneity range for these compounds. The Gibbs energy of a Gd_ANi_B compound is given as:

$${}^0 G_m^{Gd_A Ni_B} = \frac{A}{A+B} {}^0 G_{Gd}^{hcp} + \frac{B}{A+B} {}^0 G_{Ni}^{fcc} + a + bT + {}^{mg} G_m^{Gd_A Ni_B} \quad (7)$$

where ${}^0 G_{Gd}^{hcp}$ and ${}^0 G_{Ni}^{fcc}$ are the Gibbs energies of the respective pure elements Gd and Ni in the non-magnetic hcp and fcc structure respectively. The parameters a and b are evaluated in the present work. ${}^{mg} G_m^{Gd_A Ni_B}$ is the magnetic contribution to the Gibbs energy.

As can be seen in table 1, the Curie temperatures of the intermetallic compounds in the Gd–Ni system, available in the literature, are much below 298.15 K. For this reason, we have

not taken into account the contribution of the magnetic term in our calculations.

III. BIBLIOGRAPHIC DESCRIPTION OF THE GD–NI SYSTEM

A. Equilibrium diagram

The Gd–Ni phase diagram has been investigated in 1961 by Spedding et al. [22], Novy et al. [23] and Copeland and Kato [24]. The three diagrams are in a general agreement, showing two congruent melting compounds and three eutectic reactions. Note that Gd₂Ni₁₇ with a stoichiometric ratio of 2:17 reported by Novy et al. [23] was widely accepted although a ratio of 2:15 proposed by Copeland et al. [24].

Buschow and Van Der Goot [25] examined annealed samples of Gd₂Ni₇ for 2 to 4 weeks. They found that the main phase was hexagonal when samples were quenched from 1200 °C and rhombohedral when annealed at 700 °C. Consequently, they suggested that the hexagonal structure is the high-temperature form, and the rhombohedral type is the low-temperature form. Both of these structures always coexisted in the studied samples, and the temperature of the allotropic transition was not determined.

The Gd–Ni phase diagram was experimentally reinvestigated in 1986 by Pan et al. [26] using X-ray diffraction (XRD) and differential thermal analysis (DTA) and assessed in 1991 by Pan and Nash [27]. The following nine phases were supposed to exist: Gd₃Ni, Gd₃Ni₂, GdNi, GdNi₂, GdNi₃, Gd₂Ni₇, GdNi₄, GdNi₅ and Gd₂Ni₁₇. Among these compounds, GdNi and GdNi₅ melt congruently, while the others are formed by peritectic reactions. Three eutectic reactions occur: $L \leftrightarrow \text{Gd}_3\text{Ni} + \text{Gd}_3\text{Ni}_2$ (635°C, ~32 at.% Ni), $L \leftrightarrow \text{GdNi}_2 + \text{GdNi}_2$ (880°C ~56 at.% Ni) and $L \leftrightarrow \text{Gd}_2\text{Ni}_{17} + \text{fcc-Ni}$ (1275°C, ~95 at.% Ni). Neither Gd in Ni nor Ni in Gd exhibits any detectable solid solubility [26].

The experimental results obtained by Pan et al. [26] and by Copeland and Kato [24] have been used for a thermodynamic assessment carried out by Xia and Jin [28] using the CALPHAD technique. However, the results obtained by these authors present large discrepancies with the experimental data, and the calculated enthalpies of formation are too less negative and seem to be inconsistent.

Using XRD at room temperature, DTA, electromotive force (EMF) measurements, Dischinger and Schaller [29] investigated this phase diagram over the entire range of composition. In comparison with the data of Pan et al. [26] there is an excellent accordance concerning the peritectic and the eutectic temperatures and a good accordance concerning the melting point of the compound GdNi₅. However, a discrepancy of about 300 K exists concerning the melting point of the GdNi compound.

According to Copeland and Kato [24], the Gd₃Ni₂ and GdNi₄ phases reported by Novy et al. [23] and Pan et al. [26] do not exist. This result was confirmed in a recent study of the

Table 2. Gd–Ni Crystal structures data.

Phase	Pearson symbol	Type	Symbol used in Thermo-Calc data file	Reference
α -Gd ^d	hP2	Mg	HCP_A3	[41]
β -Gd ^c	cI2	W	BCC_A2	[41]
Gd ₃ Ni	oP16	Fe ₃ C	Gd ₃ Ni_LT	[42]
Gd ₃ Ni	-	-	Gd ₃ Ni_HT	[32]
GdNi	oC8	CrB	GdNi	[43]
GdNi ₂	cF24	Cu ₂ Mg	GdNi ₂	[44]
GdNi ₃	hR24	PuNi ₃	GdNi ₃	[45]
Gd ₂ Ni ₇	hP36 hR54	Ce ₂ Ni ₇ ^a Gd ₂ Co ₇ ^b	Gd ₂ Ni ₇	[25]
GdNi ₅	hP6	CaCu ₅	GdNi ₅	[46]
Gd ₂ Ni ₁₇	hP38	Th ₂ Ni ₁₇	Gd ₂ Ni ₁₇	[47]
Ni	cF4	Cu	FCC_A1	[48]

ternary Gd–Ni–V system by Zhong et al. [30]. Similarly, no evidence was found to support the existence of Gd₃Ni₂ and GdNi₄ in the experimental study of the ternary Gd–Mn–Ni system by Yinghong et al. [31].

Copland and Kato [24] showed some solubility of Ni in Gd, Gd in Ni, and Ni in GdNi₅, but no detailed information was given. Other investigators did not observe these solubilities. All intermetallic phases were suggested to be a line compound by [23], [26] and [29].

More recently, the Gd–Ni phase equilibria was critically reinvestigated by Xu et al. [32] using scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDS), XRD and differential scanning calorimeter (DSC) measurements realized on samples over the entire composition range. Except the confirmation of the absence of Gd₃Ni₂ and GdNi₄ compounds, the shape of this recent phase diagram is consistent with the results of Dischinger and Schaller [29]. However, discrepancies with the results of Pan et al. [26] was noted especially regarding the congruent melting temperature of GdNi. In the work by Xu et al. [32], the DSC curve for the Gd-20 at.% Ni sample exhibits a small pic at 911 K attributed by these authors to an allotropic transformation of Gd₃Ni.

B. Crystallographic data

The available crystallographic data of Gd–Ni intermediate phases are compiled in Table 1.

IV. ASSESSMENT PROCEDURE

The thermodynamic optimization of the model parameters of the Gibbs energy expressions is an application of the CALPHAD technique with the help of the PARROT module

of the Thermo-Calc software developed by Jansson [49] and Sundman et al. [15]. Its procedure consists of the choice of thermodynamic models for the Gibbs energy of the individual phases as previously described, the analysis of the all related experimental data available, and the computer-aided nonlinear for minimizing the square sum of the errors between the experimental data and the computed values.

In the beginning of the assessment, each set of experimental data was given a certain weight. The weights were changed systematically during the optimization until most of experimental data was accounted for within the claimed uncertainty limits. The optimization was carried out by steps. The thermodynamic parameters for the intermetallic compounds were optimized at the first stage based on the available experimental standard enthalpies of formation for the Gd–Ni intermetallic compounds and the phase boundaries information. Then experimental data related to invariant equilibria have been added to the calculation. All the parameters were finally evaluated together to give the best description of the system. We note that we have neglected the solubilities in the FCC_A1, BCC_A2 and HCP_A3 terminal solid solutions in accord with the recent experimental results [32]. This was realized by assigning a large positive value to the interaction parameter of Eq (5), i.e.

$$\begin{aligned} 0_{L_{Gd,Ni}^{HCP_A3}} &= 0_{L_{Gd,Ni}^{BCC_A2}} \\ &= 0_{L_{Gd,Ni}^{FCC_A1}} = 10^4 \end{aligned} \quad (8)$$

V. RESULTS AND DISCUSSION

Thermodynamic parameters for all condensed phases in the Gd–Ni binary system obtained in the present work are data for this binary system. Good agreement has been realized

Table 1. Curie temperatures of some intermediate phases in the Gd–Ni system.

Intermetallic compound		GdNi ₅		GdNi		GdNi ₂		GdNi ₃	
Curie temperature (K)	[Ref.]	31	[18]	69	[19]	80	[20]	114	[21]

between the calculated results and the recent experimental data reported by Xu et al. [32].

The calculated phase diagram of the Gd–Ni system is illustrated in Fig. 1. In Fig. 2 we compare our calculated phase diagram with the experimental data reported by Xu et al. [32], Pan et al. [26] and Dischinger and Schaller [29]. The phase diagram obtained in this work is in good agreement with that established recently by Xu et al. [32]. The incompatible asymmetry of the liquidus phase [50,51] on the left and right sides of the GdNi₅ compound was corrected in the course of this study (Fig.2). Indeed, according to Okamoto and Massalski's studies [50, 51], judgment about asymmetry of liquidus curves can be made comparing the ratio of the width of the two phase fields on each side of a compound at the same temperature. If the width on one side of the compound is either one half or double that on the other side, the asymmetry may be considered clearly unusual.

As mentioned previously, the enthalpies of formation of the Gd–Ni intermetallic compounds are measured by several authors. In general, direct calorimetric measurements are considered to be the most reliable, so the values obtained by Guo and Kleppa [37, 38] were used in the present study with high weights. Fig. 3 shows the standard enthalpies of formation of Gd–Ni intermediate phases together with the predicted values by the Miedema model [39] and with the experimental data determined by Colinet et al. [34], Schott and Sommer [35], Deodhar and Ficalora [36] and Guo and Kleppa [37, 38]. A reasonable agreement is noted between the calculated results and the experimental values determined by calorimetry. The enthalpies of formation for many compounds predicted by Miedema model [39] are usually more exothermic compared to the calorimetric data and they may be considered using precaution. The enthalpy of formation determined by Deodhar and Ficalora [36] for GdNi₂ using

calorimetry [36] is less negative than our calculated one. This value is also less negative compared to the other experimental values obtained by Colinet et al. [34] and Schott and Sommer [35]. The discrepancy between the experimental results is certainly due to the relative purity of the starting materials [52,53] and to the fact that the rare earth elements are largely reactive with crucibles and containers, particularly at high temperatures [54].

We note that the enthalpies of formation of Gd₃Ni and GdNi₂ calculated by Xia and Jin [28] are too less negatives and differ from the experimental values of Colinet et al. [34] by 13.5 kJ/mol and 23.7 kJ/mol respectively.

Fig. 4 presents the calculated enthalpy of mixing of liquid at 1750K in the Gd–Ni system with the experimental data determined by Nicolaenko [33]. The calculated values are satisfactorily consistent with the measured data in Ref. [33].

Gibbs energies of formation of intermetallic compounds at 1113K were further calculated and compared with data measured by Nourry et al. [40] in Fig. 5. Good agreement was realized between the calculated values and experimental results for GdNi₅ and GdNi₃ intermetallic compounds. However, Gibbs energies of GdNi and GdNi₂ at 1113K are -78.5 and -66.3 (kJ/mol. at.) respectively while the assessed values are -38.3 and -47.2 (kJ/mol. at.). The disagreement is noticeable.

On the other hand, if we considered both the enthalpies of formation measured by calorimetry and the Gibbs energies of formation determined by Nourry et al. [40] for the GdNi and GdNi₂ intermetallic compounds, the relative entropies of formation must become largely negative, which is not reasonable from thermodynamic viewpoint. Thus, we think that the Gibbs energy of formation of GdNi and GdNi₂ determined by Nourry et al. [40] are not reliable.

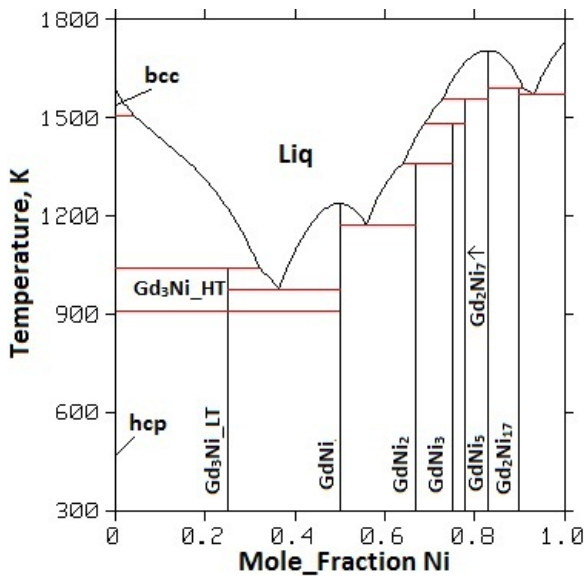


Fig. 1. Calculated Gd–Ni phase diagram

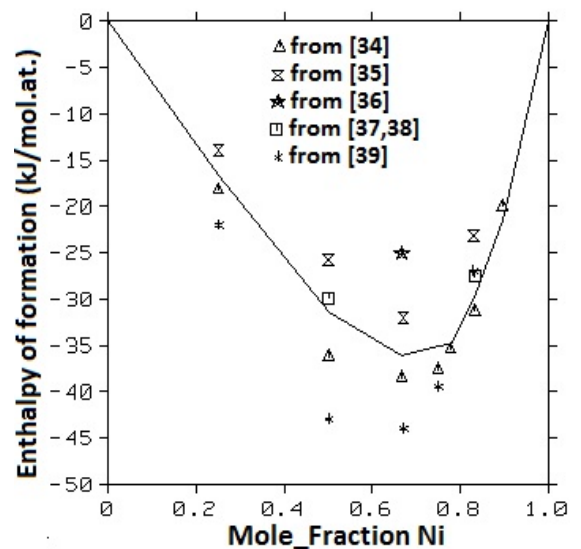


Fig. 3. Calculated enthalpies of formation

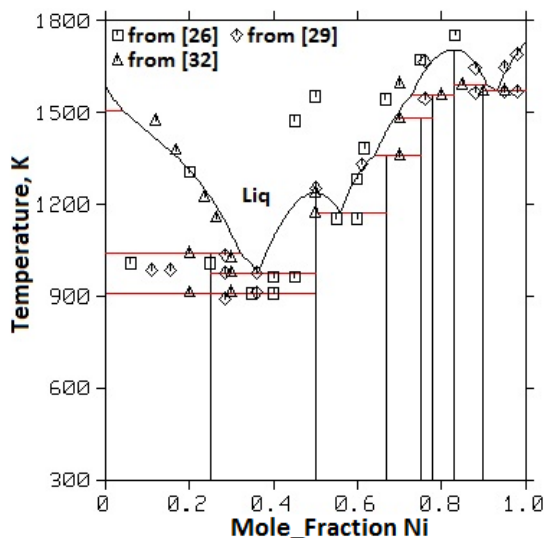


Fig. 2. Calculated Gd-Ni phase diagram compared with available experimental data.

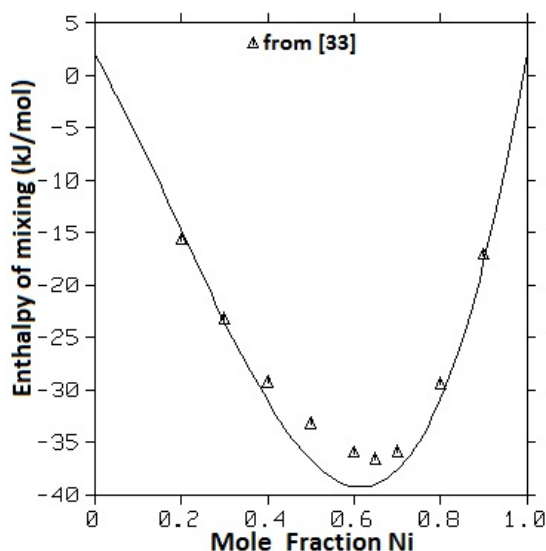


Fig. 4. Calculated enthalpy of mixing of the liquid phase at 1750 K.

Conclusion

The experimental phase equilibria and the thermodynamic data relative to the Gd-Ni system available in the literature have been critically evaluated. Within the scheme of the CALPHAD technique, the thermodynamic models for all the solution phases and intermediate compounds were selected and the Gibbs energy functions were optimized. A set of consistent thermodynamic parameters was obtained for the Gd-Ni system. The calculated phase equilibria agree well with the recent experimental one established by Xu et al. [32]. The thermodynamic data, such enthalpies of mixing of liquid, standard enthalpies and Gibbs free energies of formation of the Gd-Ni intermetallic compounds, were confronted to the available values from the literature.

References

- [1] K.H.J. Buschow, Rep. Pro. Phys. 40 (1977) 1179.
- [2] D.Chandra, J.J. Reilly, R.Chellappa, JOM 58 (2006) 26.
- [3] K.H.J. Buschow, Mater. Res. Bull. 19 (1984) 935.
- [4] S. Sugimoto, J. Phys D: Appl. Phys. 44 (2011) 11.
- [5] A. Inoue, Prog. Mater. Sci. 43 (1998) 365.
- [6] L. Battezzati, S. Pozzovivo, P. Rizzi, Mater Trans. 43(2002) 2593.
- [7] M. Zinkevich, F. Aldinger, Euromat 2003. Symp. T2.
- [8] T. Sakai, M. Matsuoaka, C. Iwakura, in: K.A. Gschneidner Jr., L. Eyring (Eds.), Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths 21(1995) 133.
- [9] C. Zimm, A. Jastrab, A. Sternberg, V.K. Pecharsky, Jr. K. Gschneidner, M. Osborne, et al., Adv. Cryog. Eng. (1998) 1759.
- [10] C. Zimm, A. Boeder, J. Chell, A. Sternberg, A. Fujita, S. Fujieda, et al., Int. J. Refrig. 29 (2006) 1302.
- [11] O. Tegus, E. Brück, K.H.J. Buschow, F.R. de Boer, Nature 415 (2002) 150.
- [12] M. Balli, O. Sari, C. Mahmed, Ch. Besson, Ph. Bonhote, D. Duc, J. Forchelet, Applied Energy 98 (2012) 556.
- [13] M. Baricco, M. Palumbo, J. Met. Nan. Mat. 20-21 (2004) 415.
- [14] L. Kaufman, H. Bernstein, Computer Calculation of Phase Diagrams, Academic Press, New York, 1970.
- [15] B. Sundman, B. Jansson, J.O. Andersson, CALPHAD 9 (1985) 153.
- [16] A.T. Dinsdale, CALPHAD 15 (1991) 317.
- [17] O. Redlich, A.T. Kister, Ind. Eng. Chem. 40 (1948) 345.
- [18] N. Kaplan, A. Grayevsky, P. Birrer, F. Gygax, B. Hitti, E. Lippelt, A. Schenck, Phys. Rev. Lett. 62 (1989) 2732.
- [19] P. Kumar, K.G. Suresh, A.K. Nigam, O. Gutfleisch, J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008) 5.
- [20] E. Gratz, A. Kottar, A. Lindbaum, M. Mantler, M. Lacroche, V. Paul-Boncour, M. Acet, C. Barner, W. B. Holzapfel, V. Pacheco, K. Yvon, J. Phys., Condens. Matter 8 (1996) 835.
- [21] M. Kwicien, G. Chelkowska, K. Rabijasz, J. Alloys Compd. 423 (2006) 55.
- [22] F.H. Spedding, A. H. Daane, The Rare Earths, John Wiley and Sons, New York (1961) 356.
- [23] V.F. Novy, R.C. Vickery, E.V. Kleber, Trans. AIME 221 (1961) 585.
- [24] M. Copeland, G. Kato, Rare Earth Research, ed. by J.F. Nachman and C.E. Lundin, Plenum Press, New York (1961) 133.
- [25] K.H.J. Buschow, A.S. Van Der Goot, J. Less-Common Met. 22 (4) (1970) 419.
- [26] Y.Y. Pan, C.S. Cheng, M. Li, H. Yang, Acta Phys. Sin. (China) 35 (5) (1986) 667.
- [27] Y.Y. Pan, P. Nash, in: Phase Diagrams of Binary Nickel Alloys, ed. by P. Nash, ASM International, Materials Park, OH, (1991) 140.
- [28] C. Xia, Z. Jin, J. Center South Univ. Technol. 28 (4) (1997) 363.
- [29] J. Dischinger, H.-J. Schaller, Ber. Bunsen-Ges. Phys. Chem. 102 (1998) 1167.
- [30] Y. Zhong, H. Zhou, Q. Yao, C. Tang, R.P. Zou, J. Alloys Compd. 470 (2009) 199.
- [31] Z. Yinghong, D. Ronghui, L. Jingqi, O. Xiaobin, D. Haixia, J. Alloys Comp. 346 (2002) 181.
- [32] G. Xu, Y.W. Cui, H. Fei, L. Zhang, F. Zheng, L. Liu, Z. Jin, International J. Materials Research 10 (103) (2012) 1179.
- [33] I. V. Nikolaenko, Izv. Akad. Nauk. SSSR Met. 4 (1990) 191.
- [34] C. Colinet, A. Pasturel, K.H. J. Buschow, Met. Trans. Z7A (1986) 777.
- [35] J. Schott, F. Sommer, J. Less-Common Met. 119 (1986) 307.
- [36] S. Deodhar, P.J. Ficalora, Met. Trans. 6A, (1975) 1909.
- [37] Q. Guo, O.J. Kleppa, J. Alloys Comp. 270 (1998) 212.
- [38] Q. Guo, O. J. Kleppa, J. Alloys Comp. 221 (1995) 45.
- [39] A.R. Miedema, P.F. de Chatel, F.R. de Boer, physica B 100 B (1980) 1.
- [40] C. Nourry, L. Massot, P. Chamelot, P. Taxil, J. Appl. Electrochem. 39 (2009) 927.
- [41] G. Bruzzone, M.L. Fomasini, F. Merlo, J. Less-Common Met. 25 (1971) 295.
- [42] R. Lemaire, D. Paccard, Bull. Soc. Fr. Mineral. Cristallogr. 90 (1967) 311.
- [43] A. Raman, Inorg. Chem. 7 (1968) 973.
- [44] M.I. Slanicka, K.N.R. Taylor, G.J. Primavesi, J. Phys. F 1 (1971) 679.
- [45] A.V. Virkar, A. Raman, J. Less-Common Met. 18 (1969) 59.
- [46] N.C. Baenziger, J.L. Moriarty, Acta Cryst. 14 (1961) 948.
- [47] K.H.J. Buschow, J. Less-Common Met. 11 (1966) 204.

Table 4. Calculated and experimental invariant equilibria in the Gd–Ni system.

Reaction	Type	Temperature (K)		Composition of the liquid phase (at. % Ni)	
		This work	Literature data [Ref.]	This work	Literature data [Ref.]
Liquid + α-Gd \leftrightarrow Gd₃Ni_{HT}	Peritectic	1039	1039 [32] 986 [29] 1008 [26] 1006 [28]	32	30 [32] 28 [28]
Gd₃Ni_{LT} \leftrightarrow Gd₃Ni_{HT}	Allotropic transition	911	911 [32]	-	-
Liquid \leftrightarrow Gd₃Ni_{HT} + GdNi	Eutectic	977	977 [32]	36	33 [32]
Liquid \leftrightarrow GdNi	Congruent	1238	1238 [32] 1253 [29] 1553 [26]	-	-
Liquid \leftrightarrow GdNi + GdNi₂	Eutectic	1172	1172 [32] 1158 [29] 1153 [26] 1232 [28]	56	56 [32] 56 [26] 57 [28]
Liquid + GdNi₃ \leftrightarrow GdNi₂	Peritectic	1358	1358 [32] 1268 [29] 1283 [26] 1280 [28]	64	61 [32] 58 [26] 57 [28]
Liquid + Gd₂Ni₇ \leftrightarrow GdNi₃	Peritectic	1481	1480 [32] 1383 [29] 1383 [26] 1372 [28]	69	66 [32] 61 [26] 60 [28]
Liquid + GdNi₅ \leftrightarrow Gd₂Ni₇	Peritectic	1556	1557 [32] 1473 [29] 1473 [26] 1474 [28]	73	71 [32] 65 [26] 64 [28]
Liquid \leftrightarrow GdNi₅	Congruent	1705	1706 [29] 1753 [26] 1760 [28]	-	-
Liquid + GdNi₅ \leftrightarrow Gd₂Ni₁₇	Peritectic	1589	1589 [32] 1573 [29] 1558 [26] 1553 [28]	91	90 [32] 94 [26] 95 [28]
Liquid \leftrightarrow Gd₂Ni₁₇ + Ni	Eutectic	1571	1571 [32] 1563 [29] 1548 [26] 1521 [28]	93	94 [32] 95 [26] 96 [28]

[48] T.B. Massalski et al. (Eds.), Binary Alloy Phase Diagrams, 1–3, 2nd Edition, Metals Park, OH, USA, 1990.

[49] B. Jansson, Ph.D. Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1984.

[50] H. Okamoto, T.B. Massalski, J. Phase Equilib. 14 (3) (1993) 316.

[51] H. Okamoto, T.B. Massalski, J. Phase Equilib. 15 (5) (1994) 500.

[52] K.A. Gschneidner, Jr., B.J. Beaudry, Scripta Metall. Mater. 25 (1991) 745; and K.A. Gschneidner, Jr., J. Alloys Comp. 193 (1993) 1.

[53] Y.U. Kwon, M.A. Rzeznik, A. Guloy, J.D. Corbett, Chem. Mater. 2 (1990) 546.

[54] E.A. Leon-Escamilla, J.D. Corbett, J. Alloys Comp. 206 (1994) 115.

Table 3. Thermodynamic parameters of the Gd–Ni binary system.

Phase	Thermodynamic parameters
Liquid	${}^0L_{Gd,Ni} = -155033.136 + 61.479 \times T$ ${}^1L_{Gd,Ni} = 85320.912 - 36.759 \times T$
FCC_A1	${}^0L_{Gd,Ni} = 10^4$
HCP_A3	${}^0L_{Gd,Ni} = 10^4$
BCC_A2	${}^0L_{Gd,Ni} = 10^4$
Gd₃Ni_LT	$G_{Gd_3Ni_LT} = 0.75 {}^0G_{Gd}^{hcp} + 0.25 {}^0G_{Ni}^{fcc} - 16661 + 3.730 \times T$
Gd₃Ni_HT	$G_{Gd_3Ni_HT} = 0.75 {}^0G_{Gd}^{hcp} + 0.25 {}^0G_{Ni}^{fcc} - 16304 + 3.338 \times T$
GdNi	$G_{GdNi} = 0.50 {}^0G_{Gd}^{hcp} + 0.50 {}^0G_{Ni}^{fcc} - 31426 + 6.721 \times T$
GdNi₂	$G_{GdNi_2} = 0.33 {}^0G_{Gd}^{hcp} + 0.67 {}^0G_{Ni}^{fcc} - 36015 + 9.772 \times T$
GdNi₃	$G_{GdNi_3} = 0.25 {}^0G_{Gd}^{hcp} + 0.75 {}^0G_{Ni}^{fcc} - 35127 + 10.012 \times T$
Gd₂Ni₇	$G_{Gd_2Ni_7} = 0.22 {}^0G_{Gd}^{hcp} + 0.78 {}^0G_{Ni}^{fcc} - 34819 + 10.345 \times T$
GdNi₅	$G_{GdNi_5} = 0.17 {}^0G_{Gd}^{hcp} + 0.83 {}^0G_{Ni}^{fcc} - 29767 + 8.271 \times T$
Gd₂Ni₁₇	$G_{Gd_2Ni_{17}} = 0.11 {}^0G_{Gd}^{hcp} + 0.89 {}^0G_{Ni}^{fcc} - 21404 + 7.063 \times T$

Session 4

*Systemes d'Information, Génie
Logiciel, Data Mining & Big Data*

A new approach for solving the bi-objective orienteering problem using GRASP/VNS

Hasnaa Rezki

Laboratoire d'Informatique, Modélisation des Systèmes et
Aide à la Décision (LIMSAD)
Faculté des Sciences Ain Chock (FSAC)
Université Hassan II de Casablanca
Email: hasnarezki@hotmail.fr

Brahim Aghezzaf

Laboratoire d'Informatique, Modélisation des Systèmes et
Aide à la Décision (LIMSAD)
Faculté des Sciences Ain Chock (FSAC)
Université Hassan II de Casablanca
Email: b.aguezzaf@fsac.ac.ma

Abstract—This paper addresses to the bi-objective orienteering problem (BOOP), which represents the bi-objective extension of the well-known orienteering problem (OP). The motivation of the multi-objective orienteering problem in general stems from the problem of planning personalized tourist routes in cities. In order to determine an effective approximation of the pareto optimal solutions, we propose an hybrid GRASP in which the improvement phase is guided by the general variable neighborhood search technique (GVNS). The performance of our approach is verified through experiments on some benchmark instances taken from the literature. The computational results show the efficiency of the proposed method for solving the bi-objective orienteering problem.

Keywords: *Bi-objective orienteering problem; GRASP; VNS; Pareto-optimal solutions.*

I. INTRODUCTION

The Objecting problem (OP) is a very interesting combinatorial optimization problem which was introduced by [1]. In the literature, the OP is also known as the Selective Traveling Salesman Problem (STSP), the maximum collection problem and the bank robber problem. The OP arises in several applications like fuel delivery problems, and tourist tour planning problems. In the OP, a set of vertices is given each with a positive known profit. The goal is to determine a path, limited by a given length restriction, that visits some of the vertices, in order to maximize the total collected profit. Different variants and extensions of the OP exist in the literature such as the Orienteering Problem with Stochastic Travel and Service Times (OPSTS) introduced by [2] in which both travel and service times are stochastic. In this problem, a specific reward is received if a vertex is visited, and if it is not, a certain penalty is incurred. This situation illustrates the challenge of a company who, on a given day, may have more customers than it can serve. Another variant of OP was recently proposed by [3]. They have introduced the orienteering problem with mandatory visits and exclusionary constraints in which the aim is to find a route that visits all mandatory vertices and some optional, without conflicts among them, while a given time restriction is respected and the total collected profit is maximized. An extension of OP with multiple routes, called the Team Orienteering problem

(TOP), was introduced by [4]. In the TOP, a set of routes is designed with the objective to maximize the total collected profit and respect a given length limit. For further applications and variants of OP, the reader is referred to the survey of [5] and [6]. The variant of the OP studied in this paper is the bi-objective orienteering problem known as the BOOP which was introduced by [7]. The motivation of the BOOP stems from the problem of planning personalized tourist routes in a city, in which two categories for each point of interest (POI) exist (e.g., category culture, leisure), and each POI provides two different profits for each category. In the BOOP, a set of vertices is given each with two positive profits. The main goal is to find feasible routes, which visit some of the vertices, that maximize the sum of both benefits without violating a given travel cost restriction. Several approaches were introduced to determine an approximation of the Pareto optimal solutions for the BOOP. The first approaches were proposed by [7]. They have developed two metaheuristic procedures. The first is an adaptation of the Pareto Ant Colony Optimization (P-ACO) metaheuristic, and the second is based on the Variable Neighborhood Search (VNS) metaheuristic. Both methods were hybridized with Path Relinking procedure. Additionally, [8] have introduced a multi-directional local search (MDLS) and applied it to the BOOP. [9] have proposed different adaptations of the GRASP combined with the Path Relinking procedure that have been used as a post-processing strategy.

In this paper, we introduce a new approach called GRASP/VNS for solving the BOOP. The proposed method is based on scalarizing functions approach, using the GRASP in which the improvement phase is guided by the general variable neighborhood search (GVNS). The GRASP [10],[11] is an iterative two-phase meta-heuristic that consists on a construction phase followed by a local search phase. The GRASP has been successfully used for solving different single-objective combinatorial problems and has been also adapted with success to solve several multi-objective combinatorial problems such as the bi-objective Set Packing Problem [12], the multi-criteria minimum spanning tree [13], the multi-objective quadratic assignment problem (mQAP) [14], and also the bi-objective commercial territory design problem [15]. On the other hand, the variable neighborhood search (VNS) introduced by [16] is based on the idea of a systematic change of neighborhood structures during the

search process once a local optimum is attained. Several variants and extensions of VNS can be found in the literature [17]. In this paper we are interested in the General VNS (GVNS) in which the local search is guided by the variable neighborhood descent (VND)[17]. In the literature, GRASP and VNS have been successfully combined for solving some multi-objective combinatorial problems such as the multi-objective permutation flowshop scheduling problem [18], the open-pit mining operational planning problem [19], and the multi-objective redundancy allocation optimization [20].

The remainder of this paper is organized as follows: At first, section 2 presents the mathematical formulation of the bi-objective orienteering problem. Then in section 3, the proposed GRASP/VNS approach is described. The computational results are reported and discussed in section 4. Finally, conclusions are presented in section 5.

II. MATHEMATICAL FORMULATION

The BOOP can be defined on a directed graph $G = (V, A)$ with a set of vertices $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_{n+1}\}$ where v_0 and v_{n+1} are the mandatory starting and ending points, and a set of arcs $A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, v_i \neq v_j, v_i \neq v_{n+1}, v_j \neq v_0\}$. For every arc $(v_i, v_j) \in A$ is associated a cost value C_{ij} which can represent the time or the distance required to travel from vertex v_i to vertex v_j . To each vertex $v_i \in V \setminus \{v_0, v_{n+1}\}$ are associated two profits p_{i1} and p_{i2} . The aim is to determine routes limited by a given cost restriction $Tmax$, that visit some of the vertices, in order to maximize the total collected corresponding to each of both profits. The decision variables are defined as follows:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if vertex } v_i \text{ is visited immediately after vertex } v_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{if the vertex } v_i \text{ is visited by the current route} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

The problem is then formulated as follows:

$$\text{Max } \sum_{v_i \in V \setminus \{v_0, v_{n+1}\}} p_{ik} \cdot y_i \quad (k=1, 2) \quad (1)$$

$$\sum_{v_j \in V \setminus \{v_i\}} x_{ij} = y_i \quad (v_i \in V \setminus \{v_{n+1}\}) \quad (2)$$

$$\sum_{v_i \in V \setminus \{v_j\}} x_{ij} = y_j \quad (v_j \in V \setminus \{v_0\}) \quad (3)$$

$$\sum_{\{v_i, v_j\} \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad (S \subseteq V \wedge S \neq \emptyset) \quad (4)$$

$$y_0 = y_{n+1} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{(v_i, v_j) \in A} C_{ij} x_{ij} \leq Tmax \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad ((v_i, v_j) \in A) \quad (7)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad (v_i \in V) \quad (8)$$

In line (1), two objective functions are to be maximized: $\sum_{v_i \in V \setminus \{v_0, v_{n+1}\}} p_{ik} \cdot y_i$ ($k=1, 2$). Each of both objective

functions is defined as the total collected of the corresponding profit. Constraints (2) and (3) guarantee the connectivity of the route and ensure that every vertex is visited at most once; Constraints (4) eliminate subtours; Constraints (5) make the route start and end at the correct points; Constraint (6) ensure that the cost limit $Tmax$ is respected in the route. Finally, constraints (7) and (8) define that the decision variables are binary.

III. THE PROPOSED APPROACH

In this paper, we introduce a new approach called GRASP/VNS in order to generate a good approximation of pareto optimal solutions for the BOOP. The proposed method is based on the scalarizing functions concept, using the greedy randomized adaptive search procedure (GRASP) which is combined with the general VNS serving as the improvement phase in the GRASP. The GRASP/VNS is presented in algorithm1.

In the concept of scalarizing functions, the search of non-dominated solutions is performed by the optimization of different weighted utility functions. For a multi-objective problem with k objective functions, the weighted utility function f is defined as: $f = \sum_{i=1}^k \lambda_i f_i$ with $\sum_{i=1}^k \lambda_i = 1$.

In order to find a variety of pareto-optimal solutions, various search directions are needed (i.e. various weight vectors λ ($\lambda = \lambda_1, \dots, \lambda_k$) are to be defined). In our approach, we employ the idea used by [18] to generate weight vectors systematically and distributed uniformly on the Pareto frontier. For a given value of s , all possible vectors (w_1, w_2, \dots, w_k) are created where $\sum_{i=1}^k w_i = s$. Then, normalized weights $(\sum_{i=1}^k \lambda_i = 1)$ are obtained by considering $\lambda_i = \frac{w_i}{s}$ ($i=1, 2, \dots, k$). For a bi-objective optimization problem, the number of weight vectors ($Nb(s)$) to be generated with a value of s , is calculated as: $Nb(s) = s + 1$.

Algorithm 1 The proposed GRASP/VNS algorithm

Procedure GRASP/VNS ($Nb(s), E(\alpha)$)

$ES \leftarrow \emptyset$

Generate a set of $Nb(s)$ weight vectors $\{\lambda^1, \lambda^2, \dots, \lambda^{Nb(s)}\}$ where $\lambda^i = (\lambda_1^i, \lambda_2^i)$ with $i=1, \dots, Nb(s)$

For $\lambda = \lambda^1, \lambda^2, \dots, \lambda^{Nb(s)}$

Select α from $E(\alpha)$

Constructive phase

$x \leftarrow$ Greedy randomized procedure (λ, α) $\alpha \in [0, 1]$

if ($\nexists y \in ES / y \succ x$) then:

$ES \leftarrow ES \cup \{x\}$

$ES \leftarrow ES \setminus \{x \in ES : \exists y \succ x\}$

End if

Local Search phase

$L = \emptyset$

$L \leftarrow$ GVNS(λ, x)

$ES \leftarrow$ non dominated solutions of $(ES \cup L)$

End For

Return ES

End

A. Constructive phase

In the GRASP construction phase, a feasible solution is built using a greedy randomized procedure and trying to maximize the value of the utility function f where:

$$f = \lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2 \quad \text{with } (\lambda_1 + \lambda_2 = 1)$$

where $f_1 = \sum_{v_i \in V \setminus \{v_0, v_{n+1}\}} p_{i1} \cdot y_i$, and $f_2 = \sum_{v_i \in V \setminus \{v_0, v_{n+1}\}} p_{i2} \cdot y_i$

In the BOOP, a solution S is a route including the start and the end vertex, in addition to some of the vertices where the total cost doesn't exceed a given cost restriction $Tmax$. In a first time, the initial partial solution is formed by the start and the end vertex $S = \{v_0, v_{n+1}\}$, and a total cost of route C_{0n+1} . At each insertion, a candidate list CL is initialized with all vertices not included in the partial solution that can be inserted without violating the route cost restriction $Tmax$. For a first insertion:

$$CL = \{ v_i \in V \setminus \{v_0, v_{n+1}\} : C_{0i} + C_{in+1} \leq Tmax \}$$

All vertices of CL are evaluated with an adaptive greedy evaluation function P that takes into account the contribution to the objective function f produced by selecting a certain vertex v_i . More formally, for each candidate v_i in CL , we define $P(v_i)$ as follows:

$$P(v_i) = \lambda_1 (\sum_{v_j \in S} p_{j1} + p_{i1}) + \lambda_2 (\sum_{v_j \in S} p_{j2} + p_{i2})$$

Algorithm 2 The VND procedure

Procedure VND (λ, x)

Define a set of local search procedures

V_1 : Local search 1

V_2 : Local search 2

$l \leftarrow 1$

while ($l \leq 2$)

$x' \leftarrow V_l(x)$

if x' is better than x

$x \leftarrow x'$

$l \leftarrow 1$

else

$l \leftarrow l+1$

end if

end while

return x

end

To choose the element to be inserted in the partial solution, a Restricted Candidate List (RCL) is defined with the best elements whose quality is superior to a certain threshold value

$$RCL = \{ v_i \in CL : P(v_i) \geq Pmin + \alpha(Pmax - Pmin) \},$$

Where: $Pmax = \max_{v_i \in CL} (P(v_i))$; $Pmin = \min_{v_i \in CL} (P(v_i))$; and $\alpha \in [0, 1]$,

The parameter α , which is selected at random from the set $E(\alpha)$, allows to control the amounts of greediness and

randomness in the choice of the element to be inserted in the solution under construction. Note that the case $\alpha = 0$ corresponds to a completely random construction procedure, while $\alpha = 1$ corresponds to a pure greedy construction.

One vertex v_i is selected at random from RCL , and it is inserted in the best position into the partial solution: $S \leftarrow S \cup \{v_i\}$. The candidate list CL is updated after the insertion. All of this process is performed as long as CL is not empty.

Algorithm 3 The GVNS algorithm

Procedure GVNS (λ, x)

Define a set of neighborhood structures

N_1 : Insert

N_2 : Exchange

N_3 : Remove

$L \leftarrow \emptyset$

$k \leftarrow 1$

while ($k \leq 3$)

(a) Shaking

$x' \leftarrow$ Generate a solution at random from the k^{th} neighborhood of x $N_k(x)$

if ($\nexists y \in L / y \succ x'$) then:

$L \leftarrow L \cup \{x'\}$

$L \leftarrow L \setminus \{y \in L : \exists x \succ y\}$

End if

(b) VND

$x'' \leftarrow \text{VND}(\lambda, x')$

if ($\nexists y \in L / y \succ x''$) then:

$L \leftarrow L \cup \{x''\}$

$L \leftarrow L \setminus \{y \in L : \exists x \succ y\}$

End if

(c) Move or not

if x'' is better than x

$x \leftarrow x''$

$k \leftarrow 1$

else

$k \leftarrow k+1$

end if

end while

return L

end

B. Local search phase

The local search phase starts with the solution generated by the constructive procedure. This phase is guided by the General Variable Neighborhood Search (GVNS). The pseudo-code of the GVNS procedure is given in algorithm 3.

Two components characterize the GVNS: a shaking phase in which a given solution is perturbed, and a local search phase using the variable neighborhood descent (VND), which consists in improving the perturbed solution generated in the shaking phase. In order to do so, a set of neighborhood

structures are to be defined. The VND procedure is described in algorithm 2.

1) Solution Shaking:

In this step, three neighborhood structures N_1 , N_2 , and N_3 are designed:

- N_1 (Insert): a vertex not included in the solution is randomly selected and it is inserted in the solution.
- N_2 (Exchange): a randomly selected vertex in the solution is removed and replaced with one not in the solution.
- N_3 (Remove): let $\varphi(S)$ be the number of vertices visited in the solution S ; the remove neighborhood structure is performed by selecting at random a position $i \in [1, \varphi(S)-1]$ and removing all vertices associated to each position $j \in [i, \varphi(S)]$.

2) Variable Neighborhood Descent (VND)

In the VND, two local search procedures are defined in order to improve the perturbed solution returned by the shaking phase. Note that the local search 1 and the local search 2 are similar to those proposed by [3]. The pseudo code of VND procedure is given in algorithm 2.

a) Local Search 1(greedy insert)

This local search, based on the insert neighborhood structure, consists in inserting the vertices not included in the solution that lead to provide a best improvement of the value of the objective function f (weighted utility function). In order to do so, vertices that have not been included in the current solution are ordered in a decreasing order regarding to the contribution to the objective function. Let x be the initial solution; if the solution obtained by inserting the first candidate vertex, with the highest contribution to the objective function is better than that of the current solution x , x is updated and the vertices not included in the new solution are ordered again. If not, the next candidate vertex with the highest contribution to the objective function is selected and inserted in x . The procedure stops when it is not possible to insert any other vertex or improve the current solution. Note that after each insertion, the feasibility of the solution is recovered by a repair procedure if needed.

b) Local Search 2(LExchange)

In the LExchange local search, based on the exchange neighborhood structure, we remove the vertex, included in the solution, that induces the worst contribution to the objective function, and we replace it with another vertex, within the set of unvisited vertices, having the highest contribution to the objective function. If the solution is infeasible, the repair procedure is applied. If the value of the objective function associated to the new solution is better than the one of the previous one, the current solution is updated; otherwise, the vertex with the next highest contribution to the objective function is taken to replace the vertex with the lowest

contribution to the objective function, and so on. If the vertex with the lowest contribution to the objective function cannot be replaced, the vertex with the next lowest contribution to the objective function is considered and the same process is applied. This procedure stops when no exchange of vertices can improve the current solution.

3) Solution Repair

It is essential to note that the shaking and the VND procedures do not guarantee the feasibility of the solution. (i.e., the generated solution can exceed the cost route restriction $Tmax$). Therefore, in a repair phase, the feasibility of the solution is recovered by removing vertices (the vertices visited in the route that cause a large increase in the total cost of the route) as long as the cost route restriction is violated.

IV. COMPUTATIONAL RESULTS

A. Test instances and parameters used in GRASP/VNS

The proposed GRASP/VNS was coded in Java and run on a computer Intel(R) with 2.1 GHz processor and 4GB of RAM memory. The GRASP/VNS was tested on some test instances taken from [7] with number of vertices ranging from 21 to 97. These test instances are 2_p21, 2_p32, 2_p33, 2_p64 (dia), 2_p66 (squ), and 2_p97 (pad); each of them is tested with three different values of route cost restriction ($Tmax$). The effectiveness of the proposed approach is compared with that of VNS method [7].

The number of weight vectors used in the proposed algorithm $Nb(s)$ is equal to 100 where $s=99$. This parameter also represents the number of iterations of the GRASP/VNS.

The set $E(\alpha)=\{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$.

Note that these parameter values have yielded the best results in our experiments.

In order to obtain the Pareto front, the GRASP/VNS was executed ten times for each test instance.

B. Performance measures

In the multi-objective optimization, the performance evaluation of a certain algorithm is performed using some metrics, that have been introduced in the literature and that lead to measure the quality among approximations of pareto front obtained by different methods, like the following:

- Distance metric (Dist) proposed by [21], this indicator evaluates the distribution of an estimated efficient frontier of method A as well as the proximity of A to the reference set R; It represents the average distance from a point $x \in R$ to its closest point in A. Dist indicator is calculated as follows:

$$Dist(A) = \frac{1}{|R|} \sum_{y \in R} \min_{x \in A} d(x, y)$$

where $d(x,y)$ represents the Euclidean distance between x and y with:

$$d(x, y) = \sqrt{(f_1^*(y) - f_1^*(x))^2 + (f_2^*(y) - f_2^*(x))^2}$$

and $f_i^*(.)$ represents the normalization of the objective function i according to the set of solutions in the reference set R . the objective function i is normalized by the following formula:

$$f_i^*(x) = \frac{f_i(x) - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}}$$

where f_i^{min} and f_i^{max} define respectively, the maximum and minimum values of the objective function i in the reference set R .

- Cardinal measure $|A \cap R|$: It represents the number of solutions in the reference set R found by the method A .
- The coverage metric $C(A, B)$ proposed by [22]: This metric represents the proportion of points in the estimated efficient frontier of method B that are dominated by the efficient points in the estimated frontier of method A . Note that $C(A, B)=1$ means that all the solutions in B are dominated by solutions A , while $C(A, B)=0$ represents the situation when none of the solutions in B are dominated by solutions in A . This metric is defined as follows:

$$C(A, B) = \frac{|x \in B / \exists y \in A: y \succ x|}{|B|}$$

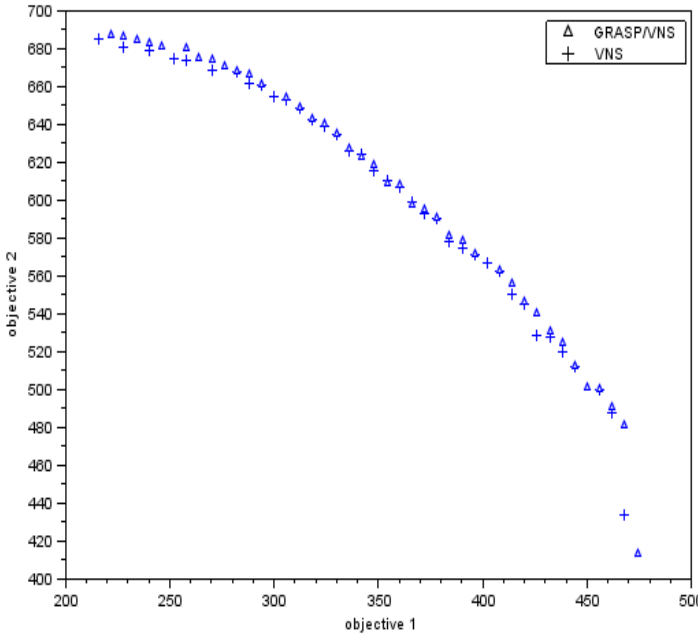


Fig. 1. Pareto front approximation for instance 2_p66 with $T_{max} = 30$

Fig. 1 shows a graphical representation of the non-dominated solutions obtained by GRASP/VNS and VNS for the problem set 2_p66 with a cost route restriction $T_{max} = 30$. The GRASP/VNS algorithm provides a better approximation of the Pareto front for this test instance.

TABLE I. average of distance metric and computational time on different instances

Instances	GRASP/VNS		VNS	
	<i>Dist</i>	<i>CPU</i>	<i>Dist</i>	<i>CPU</i>
2_p21	0.000	1.60	0.000	1.24
2_p32	0.000	4.21	0.06	3.49
2_p33	0.000	6.27	0.023	5.47
2_p64	0.006	19.70	0.007	17.49
2_p66	0.003	14.15	0.008	12.02
2_p97	0.000	2.25	0.058	1.39
Average	0.0015	8.03	0.026	6.85

Table I shows the average distance values (*Dist*) and the mean computational time in seconds calculated for each problem set with the different values of T_{max} . We can see that the GRASP/VNS outperforms slightly the VNS algorithm regarding the distance metric. The average distance value provided by our approach is smaller than that of the VNS.

The mean computational times consumed by GRASP/VNS and VNS is 8.03 seconds and 6.85 seconds respectively.

TABLE II. Cardinal measure on different instances

Instances	T_{max}	$ R $	GRASP/VNS		VNS	
			$ A $	$ A \cap R $	$ A $	$ A \cap R $
2_p21	15	21	21	21	21	21
2_p21	30	1	1	1	1	1
2_p21	40	4	4	4	4	4
2_p32	25	5	5	5	4	4
2_p32	45	5	5	5	4	4
2_p32	80	3	3	3	3	3
2_p33	35	13	13	13	13	11
2_p33	70	7	7	7	7	5
2_p33	90	3	3	3	3	2
2_p64	30	42	40	36	37	15
2_p64	50	65	57	40	64	30
2_p64	80	33	26	17	33	22
2_p66	30	22	22	21	21	14
2_p66	50	32	31	20	31	16
2_p66	80	41	38	24	40	23
2_p97	5	2	2	2	2	2
2_p97	12	4	4	4	3	3
2_p97	20	4	4	4	4	4
Total		307	286	230	295	184

TABLE III. Coverage metric

Instances	C(GRASP/VNS, VNS)	C(VNS, GRASP/VNS)
2_p21	0.00	0.00
2_p32	0.00	0.00
2_p33	0.26	0.00
2_p64	0.47	0.23
2_p66	0.40	0.22
2_p97	0.00	0.00
Average	0.188	0.075

Table II summarizes the results of GRASP/VNS and VNS regarding the number of pareto-optimal solutions in the reference set ($/R/$), the number of solutions provided by each method ($/A/$), and the cardinal measure provided by each algorithm ($/A \cap R/$). It can be observed that GRASP/VNS provided more reference solutions than VNS. For example, in the test instance 2_p64 with $Tmax=30$, 42 reference solutions were generated from which 36 (85.7%) solutions were obtained by GRASP/VNS and 15 (35.7%) solutions by VNS. For different instances tested, 307 reference solutions were generated from which 230 (74.9%) solutions were obtained by GRASP/VNS and 184 (59.9%) solutions by VNS

Table IV presents the average coverage values (C) on the different test instances. It can be seen that GRASP/VNS outperforms VNS regarding the coverage metric. In particular, for the instance 2_p66, 40% of solutions generated by VNS are dominated by GRASP/VNS, while 22% of solutions provided by GRASP/VNS are dominated by VNS. On the different instances tested, the average coverage value $C(GRASP/VNS, VNS)=18.8\%$ is better than $C(VNS, GRASP/VNS)=7.5\%$

V. CONCLUSIONS

In this paper, we have proposed a hybrid GRASP called GRASP/VNS to solve the bi-objective orienteering problem (BOOP). In this approach, the general VNS procedure (GVNS) was used as an improvement phase in the GRASP. The performance of GRASP/VNS was compared with that of VNS algorithm. Computational results on some test instances taken from the literature have shown that the proposed approach is more competitive than VNS procedure. New and more efficient solutions were found by GRASP/VNS.

References

- [1] T. Tsiligirides, "Heuristic methods applied to orienteering", The Journal of the Operational Research Society, 35(9), 797–809, 1984.
- [2] A. Campbell, M. Gendreau, and B. Thomas, "The orienteering problem with stochastic travel and service times", Annals of Operations Research, 186:61–81, 2011.
- [3] P. J. Palomo-Martínez, M. A. Salazar-Aguilar, G. Laporte and A. Langevin, "A hybrid variable neighborhood search for the orienteering problem with mandatory visits and exclusionary constraints", Computers and Operation Research, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2015.11.007>.
- [4] I.-M. Chao, B. L. Golden, & E. A. Wasil "The team orienteering problem", European Journal of Operational Research, 88(3), 464–474, 1996.
- [5] P. Vansteenwegen, W. Souffriau, D. Van Oudheusden, "The orienteering problem: A survey", European Journal of Operational Research, 209, 1–10, 2011.
- [6] D. Gavalas, Ch. Konstantopoulos, K. Mastakas, G. Pantziou, "A Survey on Algorithmic Approaches for Solving Tourist Trip Design Problems", Journal of Heuristics, Volume 20, Issue 3, pp 291–328, 2014.
- [7] M. Schilde, K.F. Doerner, R.F. Hartl, and G. Kiechle, "Metaheuristics for the biobjective orienteering problem", Swarm Intell, 3:179–201, 2009.
- [8] F. Tricoire, "Multi-directional local search", Computers & Operations Research, 39: 3089–3101, 2012.
- [9] R. Martí, V. Campos, M.G.C. Resende, A. Duarte, "Multiobjective GRASP with Path Relinking", European Journal of Operational Research, Volume 240, Issue 1, pp 54–71, 2015.
- [10] T.A. Feo and M.G.C. Resende, "A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem", Operations Research Letters, 8:67–71, 1989.
- [11] T.A. Feo and M.G.C. Resende, "Greedy randomized adaptive search procedures", Journal of Global Optimization, 6:109–133, 1995.
- [12] X. Delorme, X. Gandibleux, and F. Degoutin, "Evolutionary, constructive and hybrid procedures for the bi-objective set packing problem", European Journal of Operational Research, 204:206–217, 2010.
- [13] J. Arroyo, P. Vieira, and D. Vianna, "A GRASP algorithm for the multi-criteria minimum spanning tree problem", Annals of Operations Research, 159:125–133, 2008.
- [14] H. Li and D. Landa-Silva, "An elitist GRASP metaheuristic for the multi-objective quadratic assignment problem", In M. Ehrgott, C.M. Fonseca, X. Gandibleux, J.-K. Hao, and M. Sevaux, editors, Evolutionary Multi-Criterion Optimization, volume 5467 of Lecture Notes in Computer Science, pages 481–494. Springer, 2009.
- [15] M.A. Salazar-Aguilar, R.Z. Ríos-Mercado, and J.L. González-Velarde. "Grasp strategies for a bi-objective commercial territory design problem", Journal of Heuristics, 2012.
- [16] N. Mladenovic, P. Hansen, "Variable neighborhood search", Computers & Operations Research 24, p1097–1100, 1997.
- [17] P. Hansen, N. Mladenovic, J. A. M. Perez, "Variable neighbourhood search: methods and applications", Annals of Operations Research, 175: 367–407, 2010.
- [18] J. Arroyo, A. A.S. Pereira, "A GRASP heuristic for the multi-objective permutation flowshop scheduling problem", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 55:p741–753, 2011.
- [19] V. N. Coelho, M. J. F. Souza, I. M. Coelho, F. G. Guimaraes, T. Lust, R. C. Cruz, "Multi-objective approaches for the open-pit mining operational planning problem", Electronic Notes in Discrete Mathematics, 39 p.233–240, 2012.
- [20] Y.-C. Liang, M.-H. Lo, "Multi-objective redundancy allocation optimization using a variable neighborhood search algorithm", Journal of Heuristics, 16(3):511–535, 2009.
- [21] P. Cyzak, A. Jaskiewicz, "Pareto-simulated annealing—a metaheuristic technique for multi-objective combinatorial optimization", J Multi Criteria Decis Anal, 7:34–37, 1998.
- [22] E. Zitzler and L. Thiele, "Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength pareto approach", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 3(4):257–271, 1999.

Quadratic Algorithm to Automatic Evaluation of Candidates in the Adaptive Testing

Tarik HAJJI*

Science Faculty of Engineering (SFE)
Private University of Fes (PUF)
Fès, Morocco
hajji@upf.ac.ma

Youssef DOUZI

Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie
EHEI
60000, OUJDA
douzi.yzf21@gmail.com

Abstract—Computer Adaptive Testing (CAT) selects test items (questions) successively for maximizing the accuracy of the exam based on previous answers of the examinee. The basic computer-adaptive testing method is an iterative algorithm with the following steps: 1- Choose the first question in a questions database, based on examinee's behavior. This behavior is set as an "Ability Index". 2- The chosen question is proposed to the examinee, who then can answer correctly or incorrectly. 3- The "Ability Index" is updated, according to the step 2 result. 4- Steps 1 and 3 are repeated until a termination criterion is met. For the first step, we created a quadratic algorithm, based on an item response theory model's, to select the most adequate (next) item to ask the examinee.

Keywords—Item response theory; Computing adaptive testing; quadratic method;

I. INTRODUCTION

Adaptive tests have numerous advantages, firstly, the test side because it can get in return the candidates' answers to improve its item bank and secondly the candidate who benefits from optimized test conditions and scope of its level.

However, it has disadvantages that it is methodological constraints [6] (Constraint Programming, dynamic approche, numerical calculation) or theoretical constraints (for example, the difficulty to guarantee the absence of differential item functioning) particularly sensitive . Current approaches of adaptive tests tend to favor the maximization of information (fisher information [10] likelihood estimation [10]) provided after each answer, according to previous responses, an iterative procedure for selecting items, respecting the area of coverage to evaluate, test validity and fairness of the scores awarded to the candidates. To overcome some of these constraints, we have designed a quadratic algorithm [1-4], based on some models of item response theory, to improve the calculations and optimize resources.

II. EASE OF USE

A. Item response theory and the square algorithm

Item Response Theory (IRT) plays today a central role in the analysis and study of adaptive testing. IRT models used to estimate the ability of a candidate, and estimation parameters of item difficulty, based on other parameters related to the

item and candidate[7] . The IRT can be used in several domains: education, psychometrics, medicine, ...

Logistical models of IRT applicable to dichotomous items (including the possible results that are whether false ($X = 0$) or true ($X = 1$) [2]) consider that the probability that a candidate gives a good answer depends both on his skill and characteristics of the item. Thus, this probability increases with the skill:

$$P(X = 1 | \theta) = c + (1 - c) \frac{1}{1 + e^{d \cdot \alpha (b - \theta)}} \quad (1) \quad \text{où}$$

- $c > 0$ is the index of guessing the item,
- θ is the skill level of the candidate,
- b is the index of difficulty.
- α the discrimination index (item is more discriminating than the other).

It is proportional to the slope of the characteristic curve of the item when the skill level of the candidate is equal to the level of difficulty of the item ($\theta = b$) ;

- It is established that $d = -1.7$.
- One advantage of the IRT is to be able to position individuals and items on the same continuum. So if the item is too difficult, it means the difference ($\theta - b$) is large, and therefore a smaller probability to have a good answer. If this difference is negative it means that the candidate has a high probability of responding correctly [5].
- In general, an adaptive test consists of four phases:
 - The initial phase, in which the first or the items are selected and administered to respondent;
 - The test phase, which is to select the next item to get the answer and to update the response pattern and the estimator of skill level.
 - The stop phase, which interrupts the adaptive process when the stop criteria selected is satisfied;

- The final phase, which provides the final estimator skill level on the basis of administered items.

- There is two main parts in a CAT system: the estimation of the skill and the selection of the next item. The first gives an estimation of the ability of a candidate knowing his answers to the previous items, while the second allows you to select the next item, from the bank of items, based on the skill level.

It should be mentioned that the constitution of the bank of items is a central element. [8] An items bank is a large collection of items available, including which ones are selected to ask. Adaptive testing, these items are beforehand calibrated by estimating their item parameters in advance.

There are currently two main strategies for selection of items based on Item Response Theory, which are generally used: the so-called strategy of maximum information and Bayesian strategy. In our algorithm, after estimating the competence of the candidate, taking into account its responses to all previous items, the function of information is evaluated for different items at this level of competence, and is chosen as the next item that gives the following maximum information among the items included in the next step. When the subject has responded to this new item, we re-estimated θ and repeat the procedure. At the end of the test, the latest estimation of θ is the score obtained by the subject.

III. METHODOLOGIE

A. Quadratic algorithm for selecting the next item

In this section we will give a description [3] of a first version of a quadratic algorithm for estimating the skill of each candidate. We will assume that we have only one parameter: the difficulty of the item b .

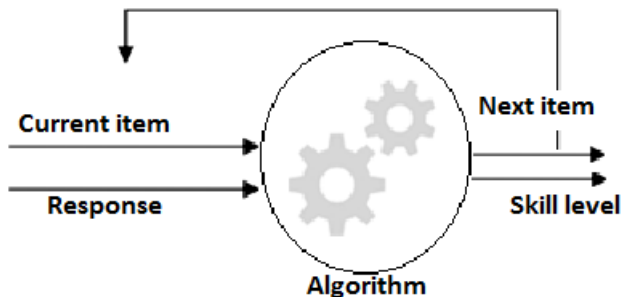


Fig. 1. Principal of algorithm

Banque of items : Contains 17 items with multiple choice question of 1 to 5, sorted in order of difficulty (between 0 and 1) increasing[11]:

- The first row contains labels item,
- The second row contains the identifier of the item,
- The third row contains the difficulty level of the item,
- The last row contains the correct answer number.

TABLE I. BANK ITEMS

Item	ID	Difficulté	Réponse
i17	17	0,05	4
i16	16	0,15	2
i18	18	0,28	1
i15	15	0,38	3
i7	7	0,49	4
i3	3	0,58	1
i19	19	0,63	1
i5	5	0,64	5
i13	13	0,67	4
i1	1	0,71	3
i4	4	0,75	4
i2	2	0,84	3
i12	12	0,86	5
i6	6	0,89	1
i11	11	0,92	5
i14	14	0,93	3
i9	9	0,97	5
i8	8	0,99	5
i10	10	0,99	2

These items are derived from the database 'Evapmib [11]. A mathematics assessment base, online, developed by APMEP (association that represents mathematics teachers from kindergarten to university) in close collaboration with the National Educational Research Institute and Institute of research on mathematics Education. This database is composed of evaluation questions from large or medium scale studies, each being provided with a set of descriptors: ID card, results recorded at various reversals, pedagogical and didactic analysis. The candidates : 50 students, with a level of skill already held.

TABLE II. EXAMPLE OF A STUDENT HABILITÉ

ID Candidat	1	2	3	4	5	..	50
Habilité	0,9	0,55	0,47	0,33	0,54	...	0.08

1) Test procedure

The individual receives the first item from the database of the items. Following his response, the first part calculates his (estimated) level of skill.

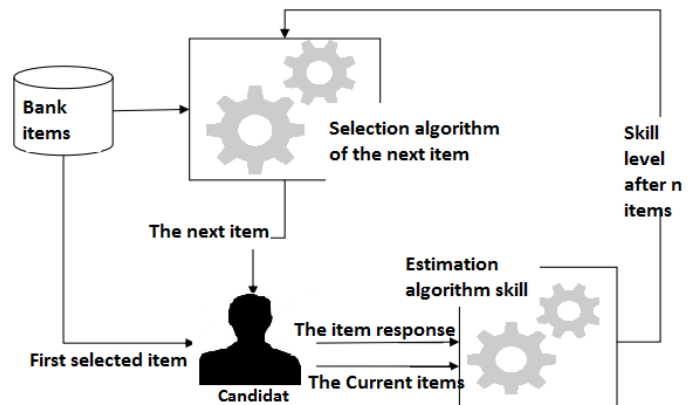


Fig. 2. Test procedure

The second part, allows giving the next item, which corresponds to the skill level estimated by the first part. The

individual responds to the second item, and so on. Until there will be no item to be administered or if a threshold value has been reached [6].

2) Selecting items part

Our algorithm is based on a quadratic method for the research of the next question according to the last difficulty level reached:

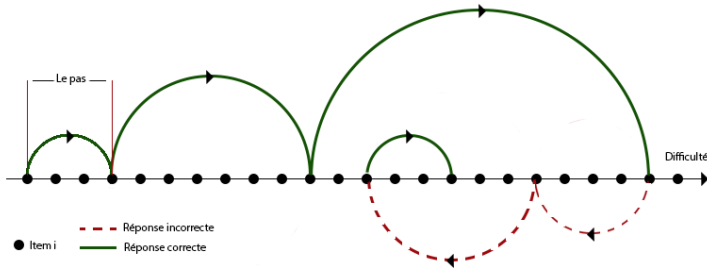


Fig. 3. Selecting items part

We see in the diagram above, that once the candidate gives his first response to the first item, we try to give an item with a higher weight (difficulty) than last asked, if the answer is correct, we offer him another item with greater weight, otherwise an item is offered with a smaller level of difficulty than the wrong answer and the last item with the correct answer. And so on, until there will be no question to ask which means we reached the max level of the candidate.

According to this algorithm, candidates will not necessarily receive the same number of items. We have here An overview of the algorithm:

```

Table questions [or [Question, Difficulty, Answer]] ←input
Step 1: Sort the table according to the difficulty (indexed from 1 to n)
Step 2: Initialize the variables of the algorithm
    • The increment= 0
    • A positive temporary counter k = 1;
    • A negative temporary storyteller g = 1;
    • An algorithm stop test = true;
    • Skill level Theta
Step 3: Find the item with max information (difficulty)
do {
    If response_of_question_number (increment) = true:
    Then
        increment = increment + 2(++k) ;
        test = true ;
        g = 0 ;
    Eles
        increment = increment - 2(++g) ;
        test = true ;
        k=0 ;
    End of if;
} While(k !=0 && g !=0)
Returns the the level of the last correct answer →output
    
```

IV. RESULTS

After all the candidates have completed their test, we retrieve the results as follows:

- The first line contins the correct answers for each item on line 3.

- The second line contains the levels of difficulty of each item.
- 1st column identifying the candidate
- Second contains the estimated difficulty level before the test
- The 17 columns that follow, represent the candidate's answer for each item
- The last column represents the max difficulty level achieved by the candidate.

Réponse	4	2	...	1	3	4	1	1	5	4	...	5	3	5	5	2		
	0,05	0,1	...	28	0,38	0,49	0,58	0,63	0,64	0,6	...	92	0,93	0,97	0,98	0,99		
ID	Habilité	i17	i1	...	i8	i15	i7	i3	i19	i5	i1	...	i11	i14	i9	i8	i10	Habilité
1	0,9	4	-	...	1	3	-	-	1	5	4	...	5	2				0,92
2	0,55	4	-	...	1	3	4	2				...						0,49
3	0,47	4	-	...		3	4	2				...						0,49
4	0,33	4	-	...	1	1						...						0,28
5	0,54	4	2	...		3	4	2				...						0,49
6	0,26	4	-	...	1	1						...						0,28
7	0,62	4	2	...			4	1	1	4		...						0,63
8	0,62	4	2	...	1	3	4	1	1	3		...						0,63
9	0,63	4	2	...			4	-	1	2		...						0,63
10	0,64	4	2	...		3	-	1	-	5	3	...						0,64
11	0,87	4	-	...	1	3	-	1	1	5	-	...						0,86
12	0,84	4	-	...		3	4	-	-	-	4	...						0,84
13	0,81	4	2	...		3	-	1	-	5	-	...						0,75
14	0,58	4	-	...			4	?				...						0,49

Fig. 4. Extract from the bank of knowledge

By comparing the estimated skill level (based candidates) and those returned by the algorithm, there is a slight difference between the two results (see the following diagram: the blue is the estimated skill and orange is the value after the test).

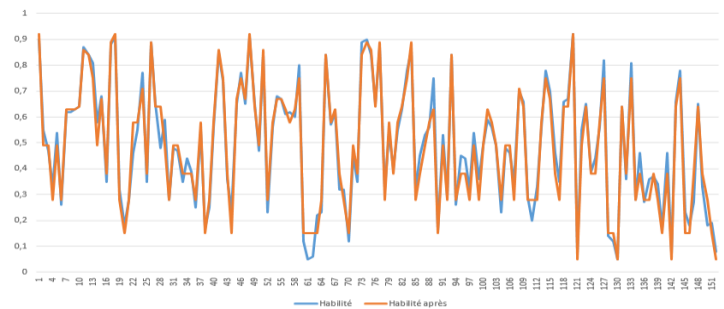


Fig. 5. Estimated skill and calculated skill

V. CONCLUSION AND PERSPECTIVES

In this article, we described an algorithm for selecting the items to be put to a candidate in an adaptive test, based on a new quadratic approach, taking into account only one parameter (the difficulty of each item). In order to have a better result, we will develop a new module to administer three bases of items with the same algorithm and calculate the standard deviation for each candidate. The smaller this value is, the more our algorithm is reliable. Theoretically, the algorithm is capable of handling a large number of items.

To make the fastest and most optimal algorithm, we will use a second version on the following points:

- Model the base of items: Increase the number of items in the databases used, instead of working with a single parameter, we will add other criteria linked to the item, in addition to the difficulty (the discrimination, index guessing ...)
- Improve the algorithm to administer any kind of question,
- Using neural networks [12] in selecting the next item to be administered, maximizing the information after a response to the current item and estimation of the skill.
- Add a module to avoid administering easy items several times.

References

- [1] M.G.D Jong, J.E. M. Steenkamp, J.P. Fox, H. Baumgartner. Using Item Response Theory to Measure Extreme Response Style in Marketing Research. *Journal of marketing Research*, 2006
- [2] D. Rizopoulos. *Item Response Theory in R using Package ltm*. Department of Statistics and Mathematics, WU Wirtschaftsuniversität Wien, 2010
- [3] D. I. Popov, D. G. Demidov, D. A. Denisov. Adaptive method of knowledge evaluation during employee's validation, 2014
- [4] Popov D.I. Adaptive Testing Algorithm Based On Fuzzy Logic. *International Journal of Advanced Studies*, 2013
- [5] KOUSHOLT, Kristine et HAMRE, Bjørn. The students should be as clever as they can – the Danish case – similarities in the Danish School Reform and computer adaptive testing (CAT). *Oxford Studies in Comparative Education*, 2015.
- [6] <http://echo.edres.org:8080/scripts/cat/catdemo.htm>. Lawrence M. Rudner. Online computer adaptive testing (CAT) tutorial
- [7] M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [8] Baker, F.B. and Kim, S.-H. *Item Response Theory : Parameter Estimation Techniques* (2nd Ed.). 2004
- [9] Devouche, E. *Les banques d'items. Construction d'une banque pour le Test de Connaissance du Français*. 2003
- [10] Johnson, M.S. Marginal Maximum Likelihood estimation of item response models in R. *Journal of Statistical Software*, 2007
- [11] http://nobelis.eu/photis/Estimat/Proprietes/information_fisher.html
<http://evapmib.apmep.fr/siteEvapmib/>
- [12] Tarik Hajji, and Jaara El Miloud. "Digital Watermarking and Signing by Artificial Neural Networks." *American Journal of Intelligent Systems* 4.2 (2014): 21-31.

Towards increasing feedbacks and widening the diffusion of information in Social Network

¹Mohcine Kodad, ²El Miloud JAARA

¹Centre de Recherche de l'EHEI, Oujda - 60000, Morocco

²LARI, University Mohammed First, Oujda - 60000, Morocco

Abstract: The aim of this document is to make sure that our two strategies which allowed the increase the feedbacks and the widening of diffusion of information on social networks. starting by determine the problem thanks to a survey which we have put on line and which also look out to assist searchers at the domain of understanding precipitation the behavior of users for adopting the possible improvement. The passing of information received has been done with an experimentation which allowed to start the types of postings had a reach rate the most increasing. among the outcome of this study ,there have resolution the problem of the non satisfaction of social network' users and the increase of diffusion of middle information our two strategies, this book based on the nature of posting and the other is automatic which takes into consideration the notion of collaborative working.

Keywords: Social network, Feedbacks, Diffusion of information, Facebook.

INTRODUCTION

Nowadays, we may have stressed that social networks such as Facebook, Twitter and others are omnipresent. It is in the beginning of the years 2000 which the communication will largely transformed with the coming f of firsts social networks such as Facebook and MYSPACE .Therefore at this moment even the real biggest social network is without any doubts Facebook. The great increase of Subscribers at social networks is alarming. Taking for example the Facebook website which had for five years more than 14 083 and more than 800 million users (Park 2015). So we can say that this numbers show the extent that social networks are implanted in our life style. That's why it should be in measure to evaluate repercussions. Starting by positive repercussions of these technologies, evidently the global social network using many advantages which are widely known. Therefore it is easy for using, little bit expensive, generally for free, it allowed a quick exchange specially with these technologies, it is possible now to join the best people instantly other ways we say engendered social networks with many advantages for people emotionally health specially meeting new friends and reconnect with the old and new view's sharing, knowledge exchange and helping people.

Therefore, social networks remain the uncountable tools of communication they enter quietly by the great gate, to the individual daily life and to the company field. What we see now is a huge potential as a tools of communication and of collaboration inside organizations. and according to "Alexa internet" the most known website which gave statistic concerning the referencement web which calculate the global web traffic of all websites (Vaughan et al. 2013), we can

classify tens of websites of social networks according to the number of visitors to some countries, it has to do with a study which will do the object of our research future work and according to this study Facebook is the world leader of social networks, and this is the raison which this paper focus on this social network.

In this document we will analyze some frequent questions and attempt to find answers to certain problems that social network's users especially Facebook subscribers, lots of questions actually can be formulated so here are the principles do the users are satisfied of feedbacks looking at their posting? Dose the rate of "see" is fixed or variable according to the number of fans? Or yet does have a lot of fans means have a rate of "see" more increased? we also introduce an experimentation which can explain the big difference between the rate of "see" different types of posting and which can help us to determine the most effective type in Facebook pages .we also suggest in this document two strategies which allowed to increase the feedback advantages at the on line posting and widening its diffusion .the first says manual and it s based on 4 setting "title", "photo", "identify" and "fans motivation" and the second is automatic and it is based on the collaborative working.

The rest of this paper is structured as follows. In section 2 presents materials and methods, the section 3 talks about results and discussion and we end with Conclusion & perspectives in the last section.

MATERIALS AND METHODS

Several researches are conducted in the social networks field, some of them have unveiled some problems either theoretical or technical, and if we take for example "Facebook" which is the most visited

social network in the world, talking about Facebook, this social network offers three services "pages", "profiles" and "groups". Facebook can be updated by issuing publications, organizing events, and adding applications, etc... However, we can find contradictions with what was said and statements of Facebook especially the one with its title "Business Generating Results on Facebook". We have concluded with this statement that if you want your publication to be readable in news feed of fans, you have to pay.

At present the companies seek to maximize the dissemination of the publication, as the latter is useful for companies for two main elements the first is "win the trust of customers" and second is "make more money". In part against the customer seeks information disseminated by the company or by online services because it is accessible and available at all places and all times, especially that social networks are used almost everywhere, at home, at work, at school and in different platforms, such as mobile phones and tablets.

Figure 1 show the business customer relationship, and show that the company to achieve these above objectives, it must target customer interested in the products. This company customer relationship requires to pose some questions: Is publications attend users? In time? The right user? Are the types of publications having the same diffusion strategy? Are Facebook users satisfied about interactions on their publications? How to increase interaction and expand the diffusion? How to increase the reach rate? Is the reach rate fixed or variable depending on the number of fans? Does having many fans mean having a higher reach rate?

In relation with the subject of customer-company, and according to all of researchers in the engineering field, a system is reliable when the probability to fulfill its mission in a period corresponds to that specified as required. If we fall this definition to the require of a manager page Facebook, the reliability for it, is to have a satisfactory number of "Reach". Especially now Facebook with its new strategy allow the administrators of Facebook pages view detailed statistic of each publication including the exact number of "Reach".

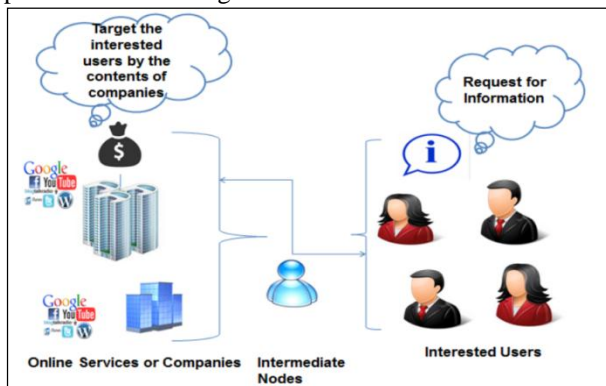


Figure 1 – business customer relationship

The number of "Reach", requires us to ask some questions and to ascend certain number of remarks. As an example: How can we have the number of "Reach"? The number of "Reach" is it proportional to the type of publication (Photo, Link, Status)? Or type of interactions (Share, Like, Comment)? Or that depends on fans of a Facebook page?.

RESULTS AND DISCUSSION

To find answers to various questions in "3. Problems", on one hand we have launched a survey using "Google Doc", in order to receive what users think about social networks and especially Facebook. On the other hand, we conducted an experiment to measure the reliability of published content.

1 Online Survey

1.1 Methods

To analyze some problems, we felt it necessary to set up an online survey. Indeed we have put an open survey in a period from November 17, 2014 to November 21, 2014, with "Google doc" and the survey was open to people from different countries of the world mainly to the students with a 1000 sample respondents and as a prerequisite the surveyed must have a Facebook account and should be as well "fans" to some Facebook pages.

Here are the elements of the technical file of the survey on-line:

- Organization Committee: LARI Laboratory
- Number of questions: 11 questions
- Number of interviewees: 1000 persons
- Nature of interviewees: persons from different countries.
- Tools: Google Doc
- Starting date: November 17th, 2014
- End date: November 21st, 2014
- Political sharing: on Facebook pages, with an email and on electronic journal.
- Requirements: All interviewees have a Facebook account.
- Language used: French easy level.

The questions are as follow:

1. Which type of post do you like to share?
2. Why do you share these posts?
3. What do you expect from sharing them?
4. If your posts are not reliable, what do you do?
5. How do you fill when your posts get a lot of likes?
6. Do you put like on a post that you appreciate?
7. When you share a post, what do you prefer?
8. Give a mark from 1 to 5 for each Facebook options.
9. Are you an owner of a Facebook page?
10. Are you satisfied from fans feedback?

11. If you have 1000 fans, how much of "reach" are satisfying for you?

1.2 Results

Here are some results found that we concern in this paper.

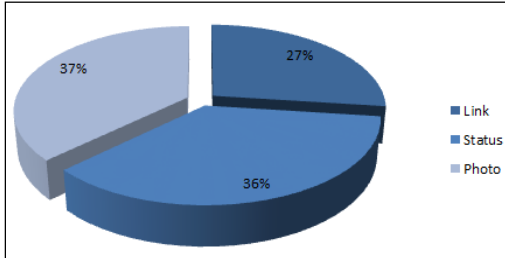


Figure 2 - The type of the most shared publications

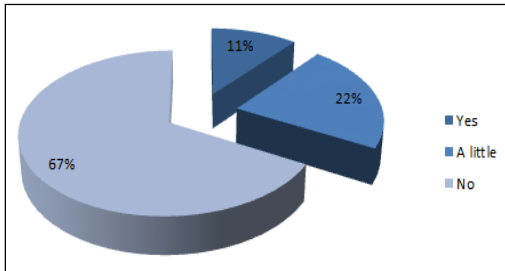


Figure 3 - Satisfaction fans interactions

Figure 2 show the result from question 1 of the our survey, according to this results 27% of people share "Links", 37% of people share "Photo" and 36% of people share "Status".

Figure 3 show the result of satisfaction to fans interactions asked at question 10, and from these results 67% of respondents are not satisfied with the interaction of their fans 22% said "somewhat" and 11% persons say that they are satisfied. At this question we also asked for explanations for those choosing "not satisfied" or "somewhat" to understand the reason for their dissatisfaction, here are the main answers: There are those who speak of lack of interaction and they aspire to much more; There are people who like the page but do not interact in content.

The Figure 4 show the results found on Question 6, that 731 participants (73%) said "yes", 71 participants (7%) say "no", and 198 participants (20%) say "this depend of his relationship with the owner of the page".

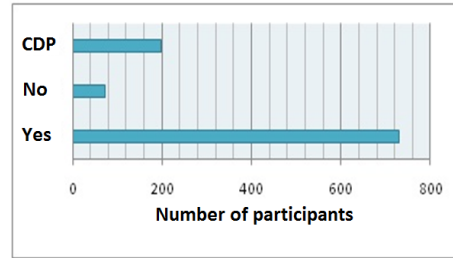


Figure 4 – Result of the question: do you put like on a post that you appreciate?

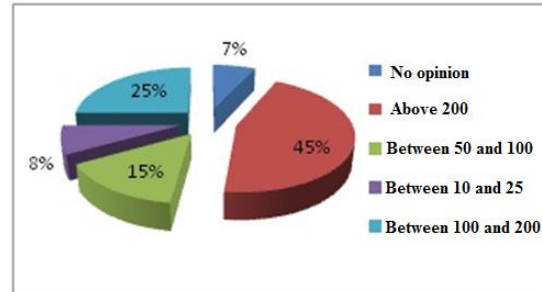


Figure 5 – Result of the question: If you have 1000 fans, how much of "reach" are satisfying for you?

Figure 5 show the results found on question 11 of our survey, including 71 participants (7%) say "No opinion", 77 participants (8%) say "Between 10 and 25", 148 participants (15%) say "Between 50 and 100", 253 participants which represents 25% of respondents say "Between 100 and 200" and finally 451 participants (45%) say "above 200".

What we can deduce according to the results found, and the above remarks, that there primarily two major problems, the problem of the number of interactions and problem of the number of "reach".

2 Experiments

2.1 Methods

To answer the questions asked in the previous paragraph, we made a test, by publishing a single publication on Facebook pages that we manage and leave for 24 hours using all three types of publications (links, photo and status). Figure 6 show the six Facebook pages that we manage and show the number of fans for each page (example: BC2 page contains 42,784 fans).

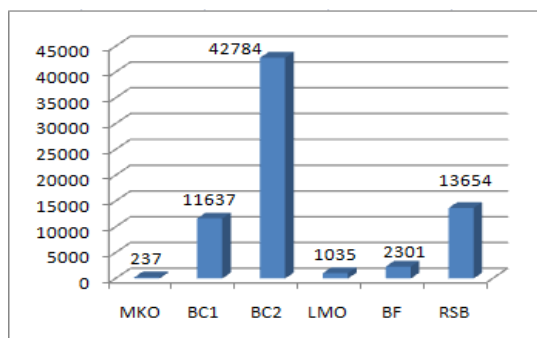


Figure 6 - Fans number for each facebook page used in this experience

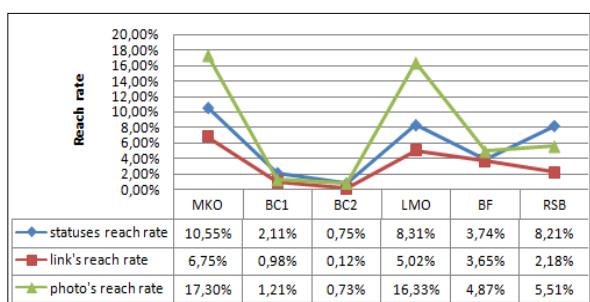


Figure 7 - The reach rate for each post types

It should be noted that the MKO, BC1, BC2, LMO, BF and RSB are the abbreviations of the pages name that we manage.

2.2 Results:

As for our experience, we started first with the case (1) sharing a "Status" publication, then the case (2) sharing a "Link" publication and we have completed the case (3) by sharing a "Photo" publication. Tables (Table I, Table II and Table III) present the results collected after 24 hours of launching each publication.

Case (1): Sharing Status

Table 1. Results Analysis of « reach » in facebook pages sharing a status

Page Name	MKO	BC1	BC2	LMO	BF	RSB
Fan Number	237	11637	42784	1035	2301	13654
Likes	0	1	5	0	2	45
Comments	0	0	3	2	1	20
Shares	0	0	0	0	0	1
Reach	25	246	323	86	86	1121
Reach Rate	10,55%	2,11%	0,75%	8,31%	3,74%	8,21%

Case (2): Sharing Link

Table 2. Results Analysis of « reach » in facebook pages sharing a link

Page Name	MKO	BC1	BC2	LMO	BF	RSB
Fan Number	237	11637	42784	1035	2301	13654
Likes	0	1	0	1	0	10
Comments	0	0	0	1	2	2
Shares	0	0	0	0	0	1
Reach	16	114	53	52	84	298
Reach Rate	6,75%	0,98%	0,12%	5,02%	3,65%	2,18%

Case (3): Sharing Photo

Table 3. Results Analysis of « reach » in facebook pages sharing a photo

Page Name	MKO	BC1	BC2	LMO	BF	RSB
Fan Number	237	11637	42784	1035	2301	13654
Likes	5	7	22	18	5	102
Comments	1	1	6	1	1	13
Shares	0	0	0	0	0	1
Reach	41	141	311	169	112	752
Reach Rate	17,30%	1,21%	0,73%	16,33%	4,87%	5,51%

NB: The reach rate is calculated according to this formula:

$$\text{Reach Rate} = \text{Reach Number} / \text{Fan Number}$$

According to the results see Tables (Table I, Table II and Table III) and Figure 7 that summarizes these tables, we can now answer some questions asked before, and thus extract a lot of information and some facts we did not have before, including:

- As long as the number of fans increases, the reach rate decreases.
- As long as the number of interactions increases, the reach rate increases.
- The reach rate of "Photo" publication type is the highest.
- The reach rate of "Link" publication type is the lowest.

3 Satisfaction results

The comparison between the survey results see "1 Online Survey" and the experimentation results see "2 Experiments" show the following results:

- At question 11 of the survey, 45% of respondents would like to have a number of reach more than 200, and 25% want to have it between 100 and 200, and therefore we can say that 70% of respondents want a number of reach greater than 100 when it concerns a 1000 fans page.

- At the level of experimentation for the page having a number of fans almost 1000 fans the case of the "LMO" page with 1035, we found that the number of reach differs according to type of publication, due to "Status" publication we found 86 "Seen", also 52 "Seen" in "Link" publication, and we found 169 "Seen" in case of "Photo" publication.

- If we compare the survey results with the results of the experimentation, we can say that the "photo" publication type respond well to the demands and needs of owners and managers of Facebook pages, unlike the "link" publication type which they represent a large satisfaction challenge among owners of Facebook pages.

4. Strategies: Methods, Application and Results

According to the results described in the previous paragraph, we can conclude that the publication type "Link" is the weakest of publications either the interactions or the reach rate, while several Facebook

pages especially those owned websites, webmasters created Facebook pages just to share links.

In this article, we propose two strategies, one called a manual and the other one automatic, they enable to increase the interaction and extend the dissemination of information

4.1 Manual strategy

4.1.1 Methods

The manual strategy that we propose, it is based on four parameters, "Image", "Title", "Identify" and "Fans Motivation". But it is first necessary that the publications of a page are correct and true so that the Facebook page can be a source of information and next to this, gain the fans' confidence. However the "Image", and "Title" are two important elements that can bring a lot of users if they appear attractive, but it must pass a publication type "Link" to a publication type "Image" to benefit from "Identify" mechanism that has become a necessary element to bring more people to the subjects (especially when we know that the subject interests them) and therefore probably have more interactions. Finally the last thing that is interesting and gives more reputation to the Facebook page is the "Fans Motivation".

Image: the image plays a very important role for a publication to be attractive and can bring about a lot of interactions.

Title: a publication must be projected so that the title makes him want to "click", to "like" or "share" your publication. So always write a title that will attract the author himself.

Identify: Identify a person to a publication, it is a request action to people, and so this will make you easily increase interaction to your publications.

Fans motivation: fans motivation is above all respond to the questions posed in the comments of your fans, it proves that you are listening to fans and you are receptive to their comments. Also, we must propose topics to discuss, organize competitions (Best photo) etc.

4.1.1 Application & results

After application of a strategy as described above, we took the case of LMO page by transmitting a publication type "Link" to a publication type "Photo" and then we identified 30 people to this publication.

Table 4. Result of feedbacks sharing a "photo" in LMO page

Page Name	LMO
Fan Number	1035
Likes	36
Comments	17
Shares	2
Reach	1865
Reach Rate	180.19%

Table IV describes the results found after sharing a publication type "Image" on the LMO page, and as you

can see very the considerable value of reach rate that has seen increased significantly, arriving at 180.19% instead of 16,33% that we found previously (see Figure 7), now the reach rate exceeds the fans number of our LMO page and also we see the interesting interactions (36 likes, 17 comments, 2 shares) instead of (18 likes and 1 comment), coming either from the fans of the page, people identified or friends of those identified

4.2 Automatic strategy

Our second contribution is the establishment of a system to increase any kind of feedback and interaction between users in social networks, using the notion and the concept of collaborative work in a reliable, credible and transparent way. Thus, the notion of collaborative work today means a work that is no longer based on the traditional hierarchical organization, and more specifically a new work mode (possibly integrated into an economic production model), where many people work together through the information and communications technology (Grassineau 2009). It is based on a logical communication facilitated by the internet (Genthon et al. 1999) or of mutual interest. In the software field, it has for example accelerated and improved efficiency many tools (Horn 1999), in the thanks part to the "passage of the Copyright Copyleft" (Zimmerman 1999)..

In the governance, there are various studies have concluded that some collaborative tools or collaborative approaches could enhance participative democracy, "adaptive approaches" and even allow new forms of socio-ecosystem resilience (Berkes et al. 2003) via an "adaptative co-management" companies (Berkes et al. 1998) and their environment, particularly in light of ecological and climatic context changeable (Berkes et al. 2001), uncertain or restored (Olsson 2001) or with natural resources (overfishing (Berkes 1998), deforestation, erosion and soil degradation, etc.) possibly by drawing on local and ancestral knowledge (Berkes et al. 2002). Adaptive and collaborative co-management is one of the solutions (Buck et al. 2001) proposed for efficient management of biodiversity.

4.2.1 Architecture

Figure 8 show the architecture of our system that we have entitled S2AF, which is based on n-tier architecture. Orientation to this architecture was driven by several aspects. Indeed, in such a system, many subscribers can access to the database which made it vulnerable, suddenly with a multi-tier architecture. The database access is performed only by the application server, it is possible to manage security at the application server, for example by maintaining a list of users with their passwords and their rights of access to system functions without changing the overall structure.

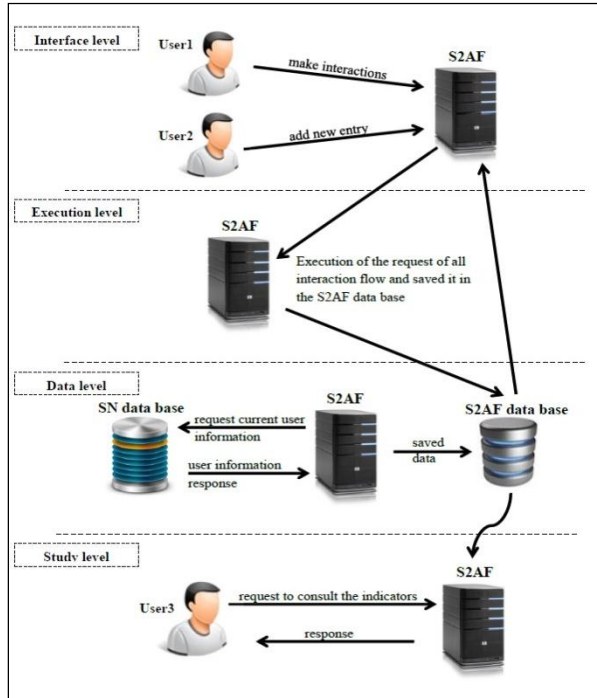


Figure 8 - Architecture of our system S2AF

Interface Level: At this level, the S2AF system provides communication between the user and the machine with a simple graphical interface. It is the main access to our system, the interface is divided into two windows, one for the monitoring and management of publications supplied by the user himself, and the second to deal with interactions on publications put by others in a collaborative spirit.

Execution Level: At this level, the system performs requests once that an interaction is set up by a user by retrieving the identifier of the user and in affecting him a "+1" if the operation is successful, if not "0", and for the receptor interaction, we remove "-1" from his score once receiving an action of the interaction as shown in Figure 11. The applications run by S2AF to a record in the database with all the information of the user and the interactions he has made and taking into consideration the calculation of indicators.

Data Level: In this level, the system is responsible for the collection of data using intermediate tools, for example for Facebook we use "Facebook App". It is also at this level that made the construction of the database and collects the data interactions in social networks and the injection of these data in the database of our system in a pattern well defined. The wildcard S2AF imposes a choice of data common to the most social networks.

Study Level: At this level, the system show in well defines schemas as diagrams and curves, the calculation results of the indicators whether those of satisfaction or

those of content, S2AF also presents the content and the process of activity done by users.

4.2.2 Objectives and functioning

The indicators calculated by our system are divided into three categories: Content publications Indicators, Satisfaction indicators and Feedbacks Performance indicators. The data extracted by S2AF for the calculations of indicators are those related to the identified user (identifier, name, email address...), its interactions (like, share, comment...) and its publications (image, link, status).

Content publications Indicators: Indicators content publications indicate information on the types of publications and social network use. These indicators concern user interactions related to the task and content of the activity performed.

Satisfaction Indicators: These indicators refer to satisfaction with interactions and collaborations realized. Among the indicators having a relatively high value interpretation, we can note those who provide a state of satisfaction with the goals, while calculating the degree of presence of the user interface on S2AF whether transmitter or receptor state.

Feedbacks Performance indicators: These indicators refer to the modes or the quality of feedback and collaboration. Among the indicators having a relatively high value interpretation, we can note those who realize the quality of collaboration during interactions, those who provide state of relations established between users.

Regarding the choice of indicators calculated by our S2AF system, we have adopted an incremental approach; we started by determining some indicators in order to test the architecture of our system, and as necessary we can incorporate other indicators that stakeholders (user, administrator, webmaster,...) consider relevant. The Figure 9, show the hierarchical diagram of the goals of our system and integrated indicators.

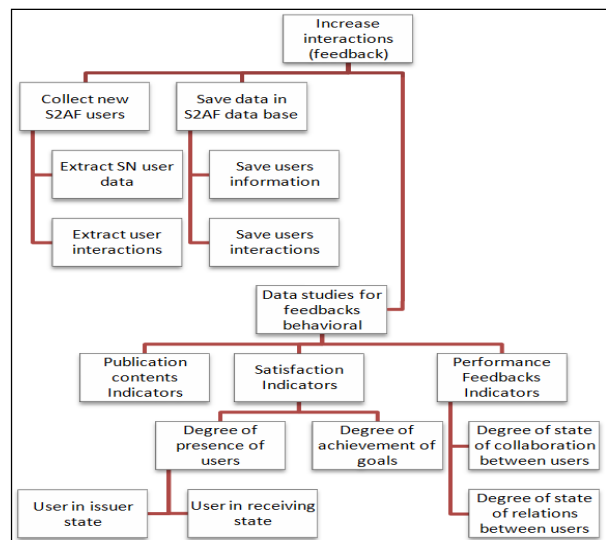


Figure 9 - Hierarchical diagram goals of S2AF

For the development and specification of our S2AF we used the process 2TUP (2 Tracks Unified Process), it belongs to the category of processes that meets the characteristics of the unified process. The 2TUP process provides a response to continual change constraints on information systems. In this sense, it strengthens control over the evolution and correction capabilities of such systems.

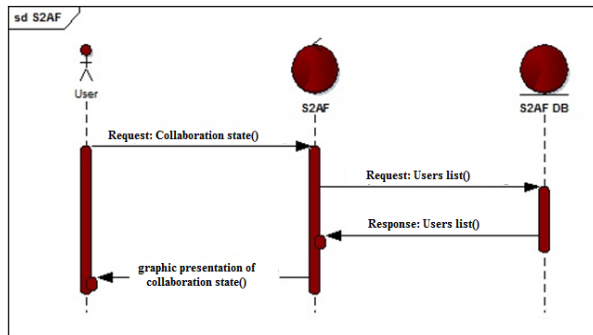


Figure 10 - Sequence Diagram providing the performance indicator Feedback: the state of collaboration between users

We have defined several use cases, according to the tasks that the system is required to perform. We present below (see Figure 10) an example sequence diagram relating to the case of use of the performance indicator feedback "state of collaboration between users". This use case describes the process executed by the system when the solicitation of information regarding the performance of feedback and especially the state of collaboration between the S2AF users.

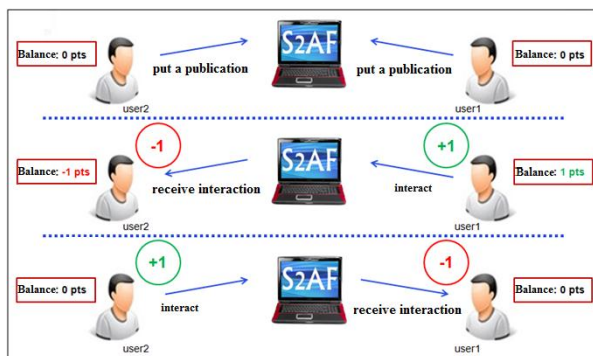


Figure 11 - functioning of S2AF system

Indeed the request is initiated by the user of S2AF system, it launches a new request to access to the database in order to return a list of users who interact on publications posted by other users. The result is returned to the system that performs the graphic presentation of the indicator as a tree.

Figure 11 show the operation of our system; for the case of two users logged on the system, delivering their first contact with the S2AF interface, they must connect and subsequently they are either seeking to put a publication or to interact with publications mailed by others. The balance of each user will be incremented by "1" point when it interacts with a publication and will be decremented by "1" point when it receives interaction. But it remains to note that the constraints is that the publication of a user with a "-1" balance never be displayed to others

4.2.3 Application & results

In order to test the performance of our system we found it necessary to create a community based on the social network Facebook. This community has 5 real users (Hassan, Sami, Driss, Farid and Kamal) see Figure 12.

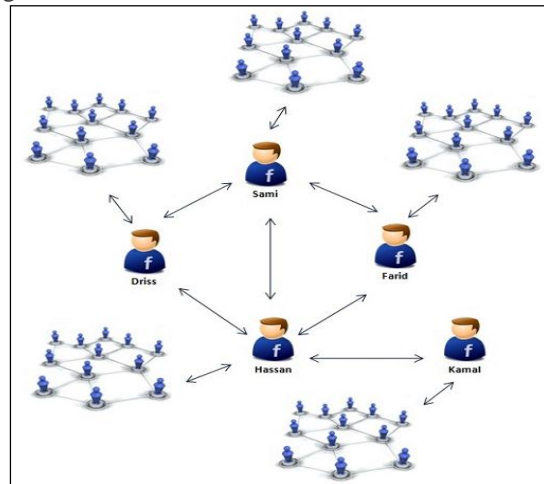


Figure 12 - Example of a real social network on Facebook with 5 real users

The relationship of this community is as follow: Hassan has 4 known friends (Sami, Driss, Farid and Kamal), Sami has 3 known friends (Driss, Hassan and Farid), Driss has two known friends (Sami and Hassan), Farid has two known friends (Sami and Hassan) and Kamal has one known friend (Hassan).

Before or after using S2AF: how many people interacted overlooked a publication?

To do this, we executed the following cases:

- Case 1: Hassan, Sami, Driss, Farid and Kamal share a publication as "image" type.
- Case 2: Hassan, Sami, Driss, Farid and Kamal share a publication as "status" type.
- Case 3: Hassan, Sami, Driss, Farid and Kamal share a publication as "link" type..

Results « Before using S2AF »

The following tables (see Table V, Table VI and Table VII) describe the interactions made between the actual users of social network Facebook (Hassan Sami,

Farid, and Kamal Driss). The information in these shares is collected after 24 hours of the launch of the publication by these users.

Case 1: Sharing a publication as "image" type. As described in the previous table (see Table V), for example when Hassan shared a publication, he has some interactions from (Sami, Driss and Kamal). Sami and Driss they had one interaction from (Hassan). Farid has been a single interaction (Sami). Finally Kamal has never interaction to its publication. So the total of interactions is 6 on 12, which means 50% of the expected interactions.

Table 5. Case 1 : sharing « Photo » publication Before using S2AF

Emet/Réce	Hassan	Sami	Farid	Driss	Kamal
Hassan	-	1	0	1	1
Sami	1	-	0	0	N/A
Farid	0	1	-	N/A	N/A
Driss	1	0	N/A	-	N/A
Kamal	0	N/A	N/A	N/A	-

Case 2: Sharing a publication as "status" type. As described in Table VI, for instance when Hassan shared a publication, he has some interactions from (Sami and Kamal), Sami and Driss had a single interaction from (Hassan), Farid has a single interaction form (Sami) and Kamal has never interaction to its publication. So the total of interactions is 5 on 12, which means 41.67% of the expected interactions.

Case 3: Sharing a publication as "link" type. As described in Table VII, for example when Hassan shared a publication, he has a single interaction from (Farid). Sami received never interaction, Farid and Driss had a single interaction from respectively (Sami and Hassan), and Kamal has never interaction. So the total of interaction is 3 on 12, which means only 25% of the expected interactions.

Table 6. Case 2 : sharing « Status » publication Before using S2AF

Emet/Réce	Hassan	Sami	Farid	Driss	Kamal
Hassan	-	1	0	0	1
Sami	1	-	0	0	N/A
Farid	0	1	-	N/A	N/A
Driss	1	0	N/A	-	N/A
Kamal	0	N/A	N/A	N/A	-

Table 7. Case 3 sharing « Link » publication Before using S2AF

Emet/Réce	Hassan	Sami	Farid	Driss	Kamal
Hassan	-	0	1	0	0
Sami	0	-	0	0	N/A
Farid	0	1	-	N/A	N/A
Driss	1	0	N/A	-	N/A
Kamal	0	N/A	N/A	N/A	-

Legend :

Emt : Transmitter
Réce : Receiver

N/A : Not Applicable.

Results « After using S2AF »

According to this experiment made for three cases cited before, it was found that the same case was redone but this time with the user of our S2AF system and found the following results:

Case 1: Sharing a publication as "image" type. As described in Table VIII, such as when Hassan shared a publication he has some interactions from these known friends (Sami Farid, Driss and Kamal), the same for others. So the total interactions are 12 on 12, which mean 100% of the expected interactions.

Table 8. Case 1 : sharing « Photo » publication After using S2AF

Emet/Réce	Hassan	Sami	Farid	Driss	Kamal
Hassan	-	1	1	1	1
Sami	1	-	1	1	N/A
Farid	1	1	-	N/A	N/A
Driss	1	1	N/A	-	N/A
Kamal	1	N/A	N/A	N/A	-

Case 2: Sharing a publication as "status" type. As described in Table IX, as when Hassan shared a publication he has some interactions from these known friends (Sami Farid, Driss and Kamal), the same for others. So the total interactions are 12 on 12, which mean 100% of the expected interactions.

Case 3: Sharing a publication as "link" type. As described in Table X, for example, when Hassan shared a publication he has some interactions from these known friends (Sami Farid, Driss and Kamal), the same for others. So the total interactions are 12 on 12, which mean 100% of the expected interactions.

Table 9. Case 2 : sharing « Status » publication After using S2AF

Emet/Réce	Hassan	Sami	Farid	Driss	Kamal
Hassan	-	1	1	1	1
Sami	1	-	1	1	N/A
Farid	1	1	-	N/A	N/A
Driss	1	1	N/A	-	N/A
Kamal	1	N/A	N/A	N/A	-

Table 10. Case 3 : sharing « Link » publication After using S2AF

Emet/Réce	Hassan	Sami	Farid	Driss	Kamal
Hassan	-	1	1	1	1
Sami	1	-	1	1	N/A
Farid	1	1	-	N/A	N/A
Driss	1	1	N/A	-	N/A
Kamal	1	N/A	N/A	N/A	-

Comparative table of results: Table XI, represents a comparative table of results found, and as you'll see our S2AF method participates in a reliable way to increase interaction toward publications in social networks. The goal without the use of S2AF will

not exceed 38.89% but using S2AF system we can attend 100%.

Table 11. Comparative table of results "Before" and "After" S2AF

Publication/method	Before S2AF	After S2AF
Photo	50%	100%
Status	41,67%	100%
Link	25%	100%
Average	38,89%	100%

CONCLUSION

We saw in this paper the different types of publication, we also determined the type of the most popular publication among Facebook users with the survey we developed, and also the most effective based on experimental implementation. We also highlighted the dissatisfaction of the owners of Facebook page toward interactions fans' and reach rate, proposing a strategy and methods say static that help to increase interactions and thus reach rate.

In this document, we also showed our S2AF system whose objective is to help users of social networks to increase the feedbacks in a collaborative work. We have also shown the architecture of S2AF, indicators that can be calculated, and we showed on detail manner the results generated.

Regarding our perspectives, we expect to realize a case study for a large community, through the development of a multi-agent system that will help us generate users with an automatic way, aims to achieve this objective and validate thereafter the conformity of our system in case of corrective or progressive interventions.

REFERENCES

C. MENLO PARK. Facebook Reports Fourth Quarter and Full Year 2014 Results. disponible ici : <http://investor.fb.com>, 2015.

L. Vaughan and R. Yang. Web traffic and organization performance measures: Relationships and data sources examined. *Journal of Informetrics*, 7 :699, 2013.

Grassineau B. L'exemple des logiciels libres et du projet d'encyclopédie libre et ouverte Wikipédia (Doctoral dissertation, Université Paris Dauphine

Paris IX). La dynamique des réseaux coopératifs, 2009.

Genthon G. and Phan D et coopération dans internet : une nouvelle organisation économique ? *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, Editions l'Harmattan :95, 1999.

Horn F. L'importance du logiciel libre dans l'amélioration de l'efficacité du logiciel. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, Editions l'Harmattan :117, 1999.

Zimmerman J.B. Logiciel et propriété intellectuelle : du copyright au copyleft. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, Editions l'Harmattan :151, 1999.

Berkes, F., J. Colding, and C. Folke. *Navigating social-ecological systems : building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2003.

F. Berkes and C. F. (eds.). *Linking social and ecological systems : Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998.

F. Berkes and D. Jolly. *Adapting to climate change : social-ecological resilience in a canadian western arctic community*. *Conservation Ecology*, 2 :18, 2001.

Per Olsson, Carl Folke and Fikret Berkes. *Research adaptive comanagement for building resilience in social-ecological systems*. *Environmental Management*, 34 :75, 2001.

Berkes, F. *Co-management and the James Bay Agreement* E Pinkerton. *Co-operative management of local fisheries*. University of British Columbia Press Vancouver. Canada 189 208, 1989.

Berkes, F., and C. Folke. *Back to the future : ecosystem dynamics and local knowledge*. L. H. Gunderson C. S. *Hol ling Panarchy : Understanding transformations in human and natural systems*. Island Press Washington, DC 121 146, 2002.

Buck, L. E., C. C. Geisler, J. Schelhas, and E. Wollenberg. *Biological diversity : Balancing interests through adaptive collaborative management*. CRC Press, New York, 2001.

Introduction Au Langage Lambda Pour la Programmation des Machines

Islam eddine HADI

Centre de Recherches de l'Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie
Oujda

Keywords : Lambda-calcul, Base Logique, Programmation

MSC Classifications: 68P15, 18C20, 18D30

Resumé: Le Lambda-calcul est un langage introduit par Church en 1930 visant à construire une base logique pour les mathématiques et la logique combinatoire. L'utilisation du Lambda-calcul par Kleene comme un codage pour les fonctions calculable a donné naissance du premier langage de programmation abstrait, tel que la machine de Turing comme première machine programmée. Par son simple syntaxe, ce langage constitue un cadre général pour l'étude des propriétés de calcul. Le calcul lambda est la base de tous les raisonnements : Mathématiques qui est compatible avec les principes de F. Codd pour la construction d'un modèle relationnel à une Big Data.

En anglais : Lambda-calculus

Le calcul lambda est un système formel qui fonde les concepts de fonction et d'application. Il a été le premier formalisme utilisé pour

définir et caractériser les fonctions récursives. Alors il a une grande importance dans la théorie de la calculabilité, les machines de Turing et le modèle de Herbrand-Gödel. Depuis, il a été un langage de programmation théorique et aussi un métalangage pour la démonstration formelle assisté par ordinateur.

1-Approche du Peintre

Appliquer la consigne Peindre en couleur en utilisant le ROUGE :

Appliquer la consigne à la couleur \rightarrow **Peindre en couleur**
 \rightarrow **En utilisant le rouge.**

Equivalente à : **Peindre en rouge**

Traduction en lambda-langage:

$\lambda x \rightarrow$ Peindre en $x \rightarrow$ En utilisant le rouge.

Ecriture en lambda-calcul :

$(\lambda x . \text{peindre en } x) \text{ rouge} \iff \text{peindre en rouge}$

Niveau	Mise en cascade
Un seul niveau	Application : $(\lambda \text{ couleur peindre en couleur l'objet }) \text{ rouge}$ Réduction : peindre en rouge l'objet
Deux niveaux	Application : $(\lambda \text{ objet. } \lambda \text{ couleur peindre en couleur l'objet }) \text{ rouge }) \text{ mur}$ Rduction 1: $(\lambda \text{ couleur peindre en couleur le mur }) \text{ rouge}$ Rduction 2: peindre en rouge le mur

N.B : Avec ces seules instructions, applications et réductions, sur des variables. Il est possible de reformuler tous les fonctions mathématiques et même, le raisonnement dans tous les domaines : linguistiques, mathématiques, informatique. De même qu'en informatique, on a imaginé des langages de plus haut niveau, plus faciles à manipuler en lambda calcul que écrire des programmes fastidieux en binaire.

2- Tour d'Horizon

-Le lambda-calcul est une sorte de langage à syntaxe élémentaire qui permet d'exprimer toutes les fonctions calculables.

-Le lambda-calcul est considéré comme la base mathématique de tous les langages de programmation.

-Formalisation développée par Alonzo Church et Stephen Kleene en 1932.

-Etudié comme langage universel par Jean-Louis Krivine.

-Le langage correspond à l'application d'une fonction à ses arguments.

-Toute entité est formalisée par :

i)- soit une variable

ii)- soit l'application d'une fonction à une autre

iii)- soit comme l'abstraction (réduction) d'une fonction

Exemples :

Une variable x	égale 7
Une fonction de x dite λx	Egale à $3x+5$
Lambda expression	$\lambda x.3x + 5$
Une application (abstraction)	$(\lambda x.3x + 5)7 = 26$
Sa réduction (calcul)	$(3x+5)[7 /x]= 26$

- Le lambda-calcul est la base, surtout, des langages fonctionnels comme : LISP, Haskell (logod'-), Miranda, ML, OCaml.

- Il est aussi utilisé comme métalangage pour obtenir des définitions formelles.

- Langage fonctionnel : programmation en écrivant des fonctions qui appellent d'autres fonctions, qui appellent des fonctions.. (Lisp pur, Miranda, Haskell.).

- Langage impératif : langage de programmation décrivant le parcours d'un algorithme précis (Pascal, C++ ..)

- Langage impératif fonctionnel : Lisp, ML

3- Rudiments de Langage

- Un niveau

Variable objet	Mur	$x=a$
Fonction	Peindre en bleu	f
Lambda-fonction	λ objet . Peindre en bleu l'objet	$\lambda x.f$
Lambda-abstraction	$(\lambda$ objet . Peindre en bleu l'objet) mur	$(\lambda x.f)a$
Réduction	Peindre en bleu le mur	$f[a / \text{objet}]$

-Deux niveaux en cascades

Données	Variable objet Variable couleur Fonction	Mur Rouge Peindre en couleur l'objet	$x=a$ $y=b$ f
Lambda de premier niveau	Lambda-fonction Lambda-abstraction Réduction	λ couleur. λ objet . Peindre en couleur l'objet $(\lambda$ couleur. λ objet . Peindre en couleur l'objet) rouge Peindre en rouge l'objet	$\lambda y.\lambda x.f$ $(\lambda y.\lambda x.f)b$ $\lambda x.f[b/\text{couleur}]$
Lambda avec les deux niveaux	Application complète Réduction d'un niveau Nouvelle application	$((\lambda$ couleur. λ objet . Peindre en couleur l'objet) rouge) mur $(\lambda$ objet . peindre en bleu l'objet) mur Peindre en bleu le mur	$((\lambda y.\lambda x.f)b)a$ $(\lambda x.f[b/\text{couleur}])a$ $f[b/\text{couleur}, a/\text{objet}]$

4- Calcul

-Alpha Réduction

$$\lambda x.E \implies \lambda zz/xE$$

Dans la fonction E , tous les x peuvent être remplacés par z .

-Bêta Réduction

$$(\lambda x.P)Q \implies P[Q/x]$$

Dans la fonction P , tous les x peuvent être remplacés par Q .

Exemple :

$$((\lambda x.\lambda y.x)\text{chat})\text{cacahuète} \longrightarrow ?$$

Calcul :

En effet, il faut remplacer dans la fonction x tout ce qui est x par cacahuète :

$$((\lambda x.\lambda y.x)\text{chat})\text{cacahuète} \longrightarrow (\lambda y.\text{cacahuète})\text{chat}$$

Dans la fonction cacahuète nous devons remplacer tous y par chat. Or il n'y pas chat dans cacahuète, donc la fonction ne peut pas être réduite en une expression en chat . Alors elle reste dans son état général de cac-

ahuète.

$(\lambda y.cacahuète)chat \longrightarrow cacahuète$

5- Quelques Formulations

-Fonctions duales

L'application sur a qui donne toujours a , c'est la fonction vraie :

$$((\lambda x.\lambda y.x)b)a \longrightarrow (\lambda y.a)b \longrightarrow a$$

L'application sur a qui donne toujours b , c'est la fonction fausse :

$$((\lambda x.\lambda y.y)b)a \longrightarrow (\lambda y.y)b \longrightarrow b$$

Alors:

$$VRAI = (\lambda x.\lambda y.x)$$

$$FAUX = (\lambda x.\lambda y.y)$$

-Définition des nombres entiers:

La formulation fait allusion à la répétition de l'application:

$$0 = \lambda f.\lambda x.x$$

$$1 = \lambda f.\lambda x.(f)x$$

$$2 = \lambda f.\lambda x.(f)(f)x$$

$$3 = \lambda f.\lambda x.(f)(f)(f)x$$

6- Propriétés

-Thèse de Church : Toute fonction calculable peut l'être avec un ensemble réduit d'instructions et une affirmation philosophique indémontrable, base de toute l'algorithmique.

-Théorème de Church-Rosser : Le

résultat final de substitutions lors des réductions ne dépend pas de l'ordre dans lequel ces substitutions sont effectuées.

-Modèle de calcul universel : Tout calcul exprimable en machine de Turing est aussi exprimable en lambda-calcul.

References

- [1] H. Barendregt, The Lambda-Calculus, volume 103, Elsevier Science Publishing Company, Amsterdam, 1984.
- [2] M. Crabbé, Le calcul lambda, Cahiers du centre de logique, numéro 6, 1986.
- [3] Jean-Louis Krivine, Lambda-Calcul, types et modèles, Masson 1991.
- [4] Steven Fortune, Daniel Leivant, Michael O'Donnell, The Expressiveness of Simple and Second-Order Type Structures, Journal of ACM vol. 30(1983),p. 151-185 .
- [5] Jean-Yves Girard, Paul Taylor, Yves Lafont, Proofs and Types, Cambridge University Press, New York 1989 (ISBN 0-521-37181-3).

- [6] Pierre Lescanne, Et si on commençait par les fonctions λ , Images des mathématiques.
- [7] Hervé Poirier, La vraie Nature de l'intelligence, Science et Vie num 1013 (février 2002), p. 38-57.
- [8] Francis Renaud, Sémantique du temps et lambda-calcul, Presses universitaires de France, 1996 (ISBN 2-13-0477097) .

Conception of Intelligent Transportation System using IBM Big Data Solution

Wilfried Yves Hamilton Adoni

Dept. Mathematics and Computer Science
Hassan II University Of Casablanca, Morocco
adoniwilfried@gmail.com

Tarik Nahhal, Brahim Aghezzaf and Abdeltif Elbyed

Dept. Mathematics and Computer Science
Hassan II University Of Casablanca, Morocco
{t.nahhal, b.aghezzaf, a.elbyed}@fsac.ac.ma

Abstract—During the last five years, more than 90% of the world's data was produced. Concerning road traffic, all data sets produced by the travelers are increasingly supplemented by other data massively acquired on real time by a growing number of traffic monitoring device. This deluge of data is called Big Data. In this article, we present the design of an intelligent transportation system (ITS) using Big Data approach. This approach allows to leverage existing information to better understand traffic flow, traveler behavior and improve the efficiency of road networks. This work is a new design of existing ITS conceptual models by integrating new Big Data solutions for massive storage, real-time analytic of traffic flow and optimization of road networks.

Keywords—*Intelligent Transportation System, Big Data, streams computing, road traffic, urban mobility, smart city.*

I. INTRODUCTION

With explosion of connected devices, road sensors, embedded GPS system and electronic data interchange, transport generates today an exponential amount of data. Everything is recorded: the entries and exit of travelers, incidents, delays, congestion, vehicles tracking... combined and analyzed, these data represent deposits of powerful knowledge to understand complex phenomena such as changes in traffic flow, traveler behavior, travel planning, etc... That is the whole purpose of big data, this new technology proposed for understanding the heterogeneous masses of data, planning tools and helping to effective decision for transport operators. It may be visual representations of maps, statistical analysis, real-time analytics, traffic prediction and decision aid.

This work was inspired by research conducted in [1] [2], [3] and was made possible by access to the data of bus, tramway and map data from the city of Casablanca. These data come from multiple sources of information such as GPS sensors, traffic control devices and embedded systems in vehicles. In this area, by combining static data with motion data, they provide useful information to end users. The main challenges in this sector include i) Volume, in terms of massive data processing; ii) Variety, the traffic data are in different formats making them quite complex for treatment ; iii) Veracity, in terms of relevance of information made available to users and iv) Velocity, in terms of response time to react to all traffic events. In this article, we present the

conceptual model of ITS by using a massive data processing approach for data in motion or data at rest. This approach encompasses a great variety of technology that can solve various transportation problems including traffic prediction and regularization problems, travelling salesman problem (TSP), research of optimal path, etc. As a solution, we used IBM Big Data technology, it consists of several platforms including: IBM InfoSphere BigInsights [4], InfoSphere Streams [5] and InfoSphere Warehouse [6].

II. RELATED WORK

The increasing mobility of people and introduction of new information technologies in the transport sector generates a significant amount of digital data. Big data can analyze real-time information related to traffic conditions and propose models to reduce transportation costs.

F. Lécué, S. Tallevi-Diotallevi, J. Hayes, R. Tucker, V. Bicer, M. Sbodio and P. Tommasi in [7], [8] have implemented a urban transportation system to analyze and predict the traffic events of the city of Dublin in Ireland. The system supports semantic analytics and reasoning based on human-machine. The methodology employed is based on semantic web technology which integrates sensor data using historical amount of data and variety of formats. In terms of velocity, the system ensures handling large data generated in real-time. This allows to react instantly to traffic events and offer an efficient urban planning. The predictive method implemented enables an estimate of future observations based on historical data. This also allows to determine the future states of road segment in order to anticipate events. The system has been experienced in Dublin and tests performed in Miami USA, Rio Brazil, Bologna Italia and works with historical, real and support stream process which are managed by InfoSphere Streams, we will discuss about this platform in section IV.

A. Biem, E. Bouillet, H. Feng, A. Ranganathan, A. Riabov and O. Verscheure [2], [3] implemented a monitoring system able to process traffic data flow of Stockholm city. By combining data from GPS sensors and road network data, the system provides real-time mobility aid information. Thus, the research team used InfoSphere Streams for processing large volume of data from 120,000 GPS sensors per second combined with 600,000 routes to generate different kinds of statistical models and respond instantly to customer queries.

Some studies show that it is possible to create an image of the traffic from the sensor data. E. Bouillet and A. Ranganathan [1] have implemented an ITS that provides a picture of traffic conditions based on data from GPS sensors. The estimation of travel time between two points and the spatio-temporal representation of traffic conditions has been feasible by collecting many GPS data such as data from taxis, public transport, private vehicles, utility vehicles, etc. The traffic flow generated on real-time are managed by stream process provides by InfoSphere Streams. The results showed that the system can handle GPS data from 1 million access points per second and provide a cartographic representation with 1 trillion links.

J. Hao, J. Zhu and R. Zhong [10] carried out a study on the mobility of people in China. By using big data, they analyzed the behavior of users, traffic jams and traffic flow. After having carried out the analytical study, they set up a decision-support plan and implement new methodology for traffic data management using big data tools. This study identify new issues such as the challenges related to Chinese population growth, congestion and air pollution.

S. Geisler and C. Quix [11] are studying the analysis of extraction methods of traffic data to identify appropriate configurations for ITS. They suppose that the vehicles are equipped with driver assistance system in order to provide useful information for vehicle tracking. The results provide interesting insights for installation and configuration of ITS systems that use CarTo-X messages as a primary source for deriving traffic data and reveals the challenges for the extraction and management of traffic flow data.

III. MOTIVATE

Nowadays, public transport has become the most widely used moving means in large urban areas, It is deemed effective than individual transport in terms of energy consumption and capacity to gather passengers in the same vehicle (bus, tram and metro) to different destinations. However, various problems arise when offers services becomes lower than the demand of travelers. This problem is an infernal headache for the big Moroccan metropolis with high population growth. Casablanca is one of the largest African cities with inclusive potential, according to the African Cities Growth Index (AGCI). It is the largest city in Morocco and the second largest city in Africa. This position makes it one of the cities with the highest demand in transport, thus generating massive flow of movement inside the city. That provokes considerable traffic problems causing a significant cost for utilities and transportation companies. At the social and ecological level: difficulties in accessing the work place and public services, deterioration of living conditions, significant increase of air pollution and at the economic level: because of the time and resources lost in traffic congestion. These different aspects constitute criteria to take into account in the development of travel planning of vehicles. This task is a major challenge for traffic regularization agencies because it requires the acquisition of massive information to conduct explorations and predictive analysis on traffic conditions. This prediction is made taking account of real-time traffic conditions and other external factors such as accidents, weather and road work may

affect traffic conditions. The main challenges are based on the storage and handling of massive amount of static or stream data generated daily by different transportation modes. In Casablanca, bus and tramway are the favorite transportation modes of travelers because of their connectivity with high mobility areas and their ability to transport a large number of passenger. However, various problems related in particular to the high mobility of people in areas under coverage of various transport modes, creating delays, economic losses for the transport. Currently the ITS of Casablanca city are not suited to frequent changes of traffic events and do not support the analytical processing of massive amount of information coming from many sources of data and present in different formats. In this sense it is necessary to implement an adaptive system able to face the challenges of volume, veracity, variety and velocity of traffic flow.

This work aims to develop an ITS providing i) the analytical processing of real-time traffic data ii) the prediction of disruptive events and iii) the availability of multi-modal information to provide assistance services for users mobility. Our work will have a good impact in the transport domain specially with the trend of Moroccan government towards developing smart cities taking for example Casablanca city, some of powerful projects has already been started under the slogan “Smart Casablanca, M’dina move”.

IV. CONCEPTUAL MODEL

In this section, we present the conceptual model of our system. This conception is based on using different IBM Big Data platforms. In the first part of our design, we present the functional behavior of the system and the different interactions of the actors with the system. Secondly, we show the methodology of collecting and analyzing of real-time traffic data. In the third part, we show the model for storing large volumes of traffic data and finally we present the interactions between the different components of the system.

A. Resolution approach

To solve this problem, we opted for an approach based on the **4V** (Volume Velocity Variety Veracity). This approach is perfectly correlated with the characteristics of big data. In this sense we use the IBM Big Data platforms:

1. **IBM InfoSphere BigInsights:** to 1) store and analyze petabytes of traffic data (structured and unstructured) spread over the entire cluster; 2) create visualizations and build predictive models of traffic flow.
2. **IBM InfoSphere Streams:** for real-time analytic of traffic data flow and taking action before storage. The tasks performed by this platform are: 1) the collecting of data from sensors, the entry and exit of passengers and; 2) detect and react quickly to traffic jams or others traffic events.

The processed data are sent to Open Street Map (OSM) Server [12] for cartographic visualization. We use this tool because it provides a dynamic representation and good accuracy of map data.

B. Functional behavior and actors system

The actors interacting with the system are grouped into three categories:

- **Passenger:** primary actor, physical person using public transport modes to wander about his activities. We assume that the passengers do not use personal transport and has a transport card equipped with RFID chip. It was developed in view of future connection of bus-tramway and better understand traveler behaviors.
- **Transport Company (TC):** primary actor, represents public transport companies ensuring users mobility. We suppose that GPS systems are embedded in public transport vehicles. This category of actors consists of two transportation companies operating in Casablanca city: M'dina Bus and Casa Tram ensures the displacement of passengers respectively by bus and tramway.
- **Autoroute Du Maroc (ADM):** secondary actor, it provides the control and regulation of road traffic in Morocco. It also provides real-time information on traffic conditions.

System users are external actors, each actor have a need well defined when it interacts with the system. These different requirements influence the functional behavior of the system. To better understand user demands we have grouped them by category. Table I show five categories of use cases: (1) Travel planning: this category concerns the needs of users in terms of looking for a multimodal route and setting up a vehicle tour schedule. This category is based on traffic conditions. The users concerned are passengers and public transport companies. (2) Traffic analytic: it relates to the needs of users in terms of analytical processing. This allows to analyze the behavior of travelers and vehicles tracking between different stop stations. This analysis is done by taking account historical data and data generated in real-time. (3) Traffic prediction: this category concerns the requests in terms of traffic prediction and detection events that may disrupt traffic conditions. (4) Stream traffic data : for real-time analysis of data from different sensors. (5) Real time information: this category includes features that allow to inform continuously passengers in time and space. The different information provided are: the hours of vehicles passage, incidents or traffic jams occurred on public transportation lines.

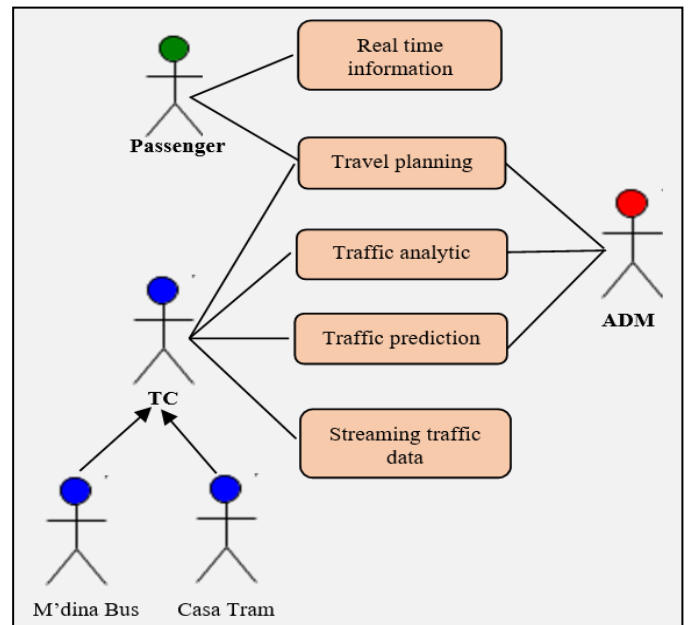
TABLE I. FUNCTIONAL BEHAVIOR OF THE SYSTEM

Use case category	Description
Travel planning	Provide multimodal itinerary for passenger and adaptive calendar for vehicle travel.
Traffic analytic	Analyze passenger behavior and vehicle movement based on speed, position and occupancy.
Traffic prediction	Predict congestion based on traffic flow, vehicle arrival and transit time.
Stream traffic data	Collect and analyze traffic data on real-time in order relate some incident.
Real-time information	Alert incident and vehicle delay.

Fig.1 presents the interactions between actors and use cases. We note that TC and ADM share some services. The objective of this strategic vision is to enable TC to be informed about

events that could disturbed vehicles routing. Another reason is to establish an adaptive calendar based on data provided by ADM.

Fig. 1. Global view of use case diagram



C. Streaming process

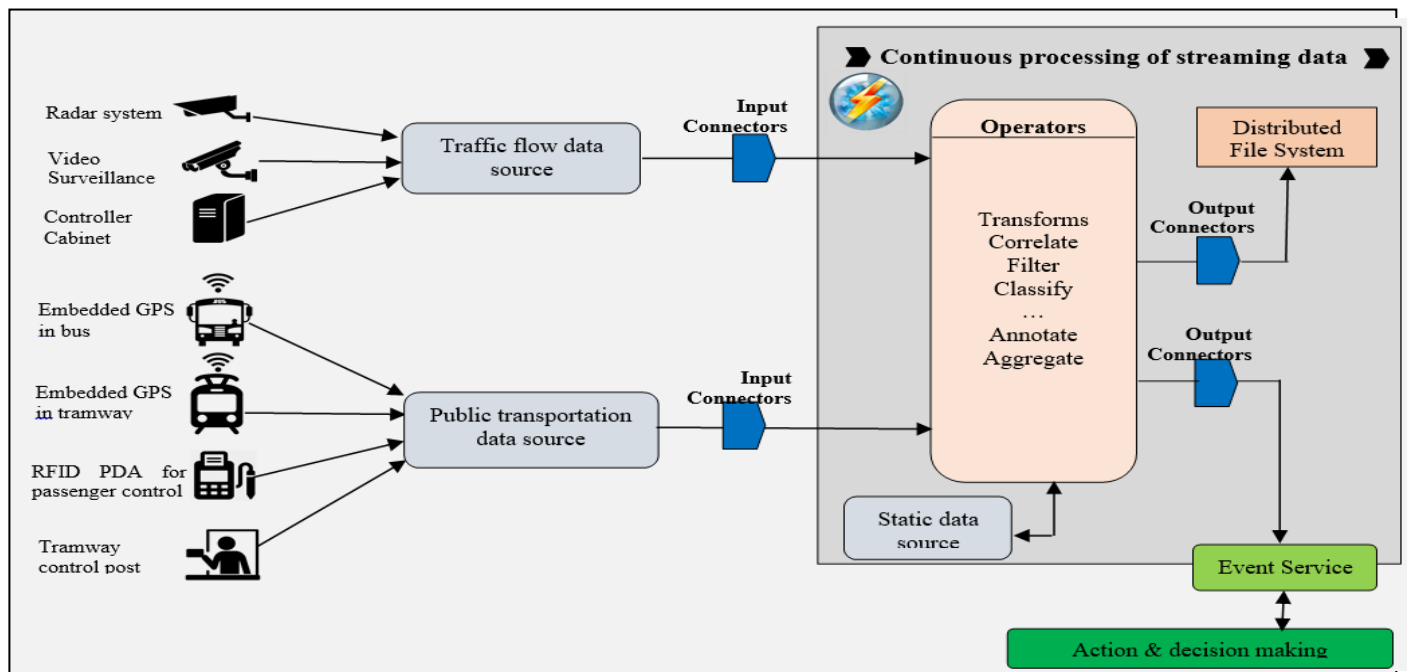
Data in motion are the large data streams generated on real-time, these data are processed before being stored. This allows immediate reaction to traffic related events and allows to be in permanent contact with end users. We have developed streams applications to analyze streaming data for real-time insight. Several data sources feed information flows, to develop a better design and implementation of streams process, we classify the data sources in two categories: 1) Traffic flow data source, the data from traffic monitoring devices and 2) Public transportation data source, data from tramway checkpoints, data from sensors embedded GPS in buses and tramways. These embedded systems in public transportation vehicles also provide information's on passenger movements such as entries-exits, peak hours at bus or tramway stops. Remember, we assume that the passengers have an electronic subscription card equipped with RFID chip, card reading is done by using a PDA¹ terminal. Fig. 2 show the architecture of the stream graph flow of our system.

The architecture of the stream graph flow is composed of a set of data source connected to operators. IBM Stream is designed to support large flows of structured and unstructured data generated by various sensors. Access to data from the sensors is done from a standard set of communication function (socket). InfoSphere Streams provides many adapters to obtain data via HTTP, FTP, TCP / IP, UDP / IP, JMS, MQ, MQTT, Kafka, RSS, etc. In the first step we determined which communication technologies are used by different sensors. It is also possible to add other types of exchange protocol if it is

¹PDA: Personal Digital Assistant, is a pocket computer with a processor, a memory, touchscreen and network features in a compact package extremely small.

not supported by the platform. The second step is to perform the real-time analytical of traffic data. InfoSphere Streams provides many operators such as transforms, correlate, filter, annotate, aggregate, etc... to perform this task. All the operators are connected by streams and each operator communicates directly with other operators via their input and output ports. The final step of stream process is to detect abnormal events or to save all traffic flow data across the entire of the cluster. After hot treatment of the traffic flows, we proceed to data storage. Many toolkits are available in InfoSphere Streams allowing to persist into traditional databases, Hadoop file system, NoSQL stores and to provide deep analytic..

Fig. 2. Stream graph flow architecture



D. Data storage accros the cluster

The data are varied (traditional and non-traditional data) and come in different formats (CSV, TSV, TEXT, XML, JSON, Shape file, relational database...). We treat three categories of data: static, quasi stream and stream data. Static data are data provided by TC, ADM and OSM. Static data relate to information that does not change during the data lifecycle. These type of data include: map data of Casablanca city, public transport lines, historical of vehicle tour schedule and passenger mobility. Static data of bus included traces about 866 vehicles centralized on 4 areas, 70 lines spread over 1250 kilometers and several recording about the behavior of 21,000 students transported daily. Static data of tramway included a line in the shape of fork of 31 kilometers with 50 stations and many records about the behavior of 120,000 passengers every day. Quasi streams data refer to information that changes at low frequency. They relate to the data of road works and maintenance, planned events with a small or large

attendance and vehicle tour schedule, generally this task is carried out weekly. Streams data are the traffic data flow acquired on real-time, they concern road weather condition, real-time weather information, vehicle tracking (GPS location, line number, delay, and stop flag), passenger behavior and related incidents.

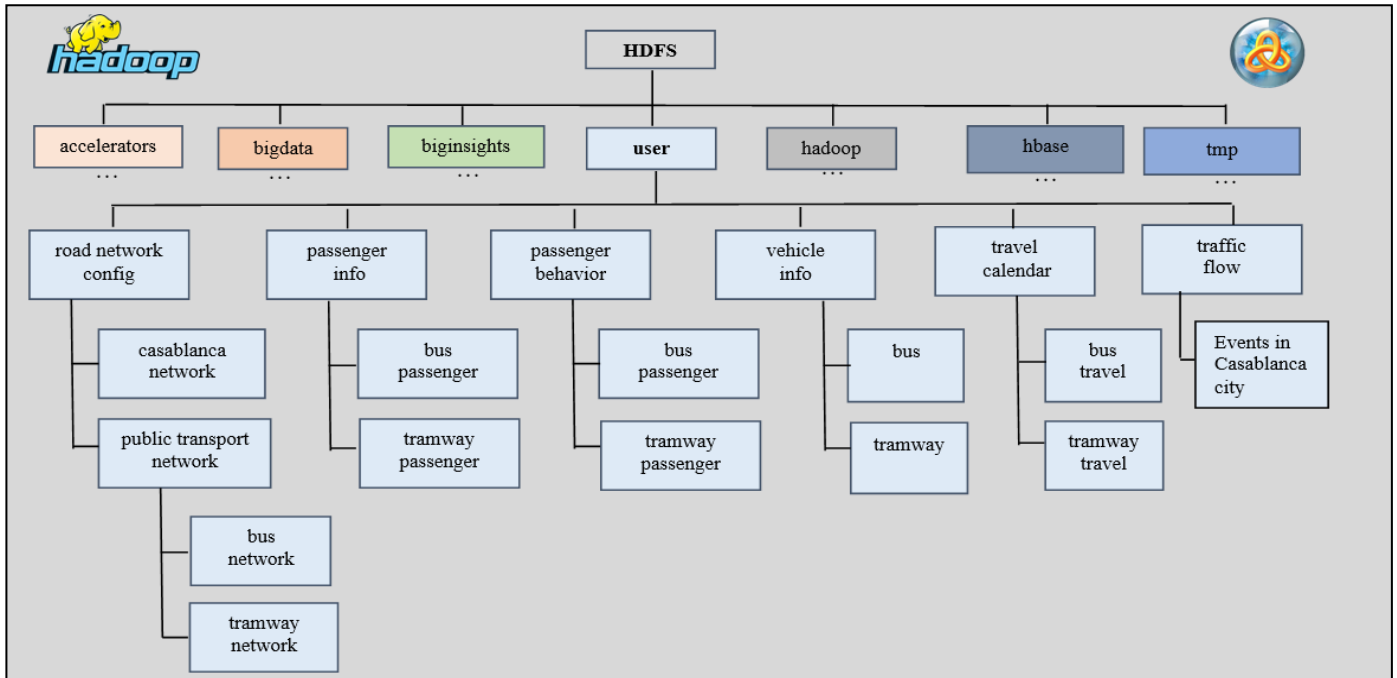
The traditional approaches of data storage and existing relational databases are not adapted for handling large volumes of unstructured data and cannot ensure data scalability. We opted for the massive storage approach by using Hadoop file system [13] provided by InfoSphere BigInsight. Hadoop is an Apache open source framework written in Java designed to facilitate the creation of scalable

and distributed application for storing and processing large amount of data. It is inspired by Google technology (MapReduce, GoogleFS and BigTable) and initiated by Yahoo. Hadoop enables applications to work well with petabytes of structured and unstructured information spread across thousands of nodes. Thus, each node consists of computer (CPU + disks) grouped in clusters. The cluster is composed of a set of rack interconnected by network using a block protocol specific to Hadoop file for communicate and each rack contains multiple nodes. Hadoop modules are designed with a view that hardware failures are common and therefore they must be handled automatically by the framework. Hadoop is based on two keys aspects: Hadoop Distributed File System (HDFS), where traffic data are stored (see Fig.3) and MapReduce program for data processing. HDFS stores data across multiple nodes and assumes nodes will fail by achieving reliability by replicating data across the entire cluster, by default, we configured 3

replicas of each piece of data for assume ITS fail. It is designed to support very large files of data and each file is split into blocks. In our case, we divided the files containing the traffic data into blocks of 128MB (BigInsights default). To handle traffic data contained in the HDFS, Hadoop transfers the MapReduce program on each node and each node processes the data it can access. This allows for faster processing and more efficiently all the data in the cluster than in a classic super computer architecture based on a parallel file system where data computations are distributed via high-speed networks.

The second is a BigInsights application, it handles data stored in the distributed file system in order to produce statistical models, deep analytics and predictive models per interval of time. The analytical study includes the passengers mobility, vehicle tour planning and traffic prediction in areas covered by public transport vehicle. The BigInsights platform provides powerful analytical tools such as BigSheets, Big R (R Studio) and SPSS to build statistical models based on information stored in the Hadoop file system or in different nodes of the cluster.

Fig. 3. HDFS architecture



E. Overall application description

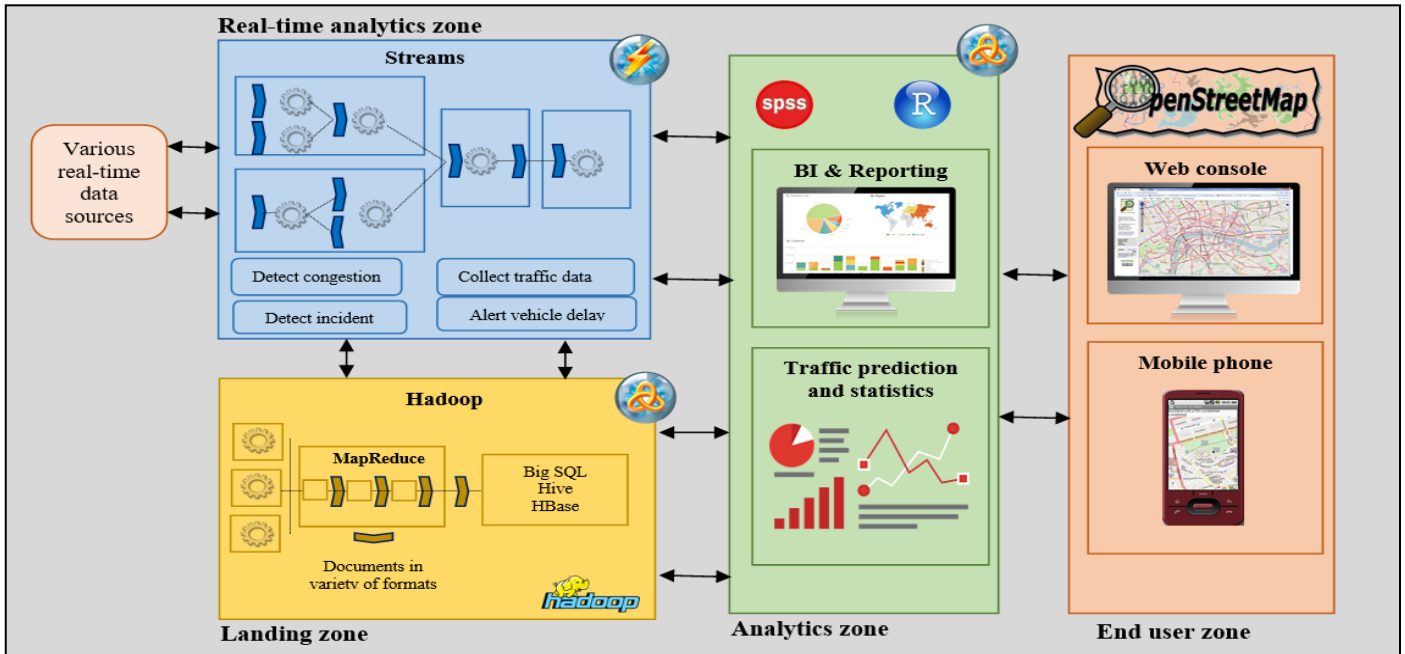
With the large number of interconnected vehicles that are sending GPS data in real-time and new traffic monitoring devices in the Casablanca city, we created an image of traffic condition in time and space. We now describe different applications that allow us to manage the traffic information in order to provide various value-added services for passengers and TC. As part of our research work, we are working on two applications.

The first application is a stream application, it processes the data stream into three distinct phase. The first phase consists of a real-time processing of traffic data. This includes obtaining, transforming, filtering and classifying GPS data from embedded systems in vehicles. In the second phase, the data is aggregated and correlated with data from the road network control devices to react instantly to events disturbing traffic conditions. The actions taken in this phase include the detection of incidents, detection of congestion and vehicle delay. Finally, we store the streaming data in the distributed file system.

We used statistics and predictives data to calculate different types of derived information such as estimated travel times, vehicles arrival and multimodal shorter paths. The final products can be sent to final users and available on Open Street Map platform. End users may consult the traffic information via web interfaces and mobile phone equipped with GPS sensor. For the multimodal path, we are currently working on an adaptive algorithm based on Dijkstra algorithm [13] that accepts continuous changes of traffic conditions. It is an improvement of Dijkstra algorithm because it takes into account the following parameters: the distance between an origin and a destination, availability of public transport modes, user preferences and traffic conditions to create an optimal part.

The various components of the system are synchronized, this allows internal exchange of services. Fig. 4 shows an overall view of the system operating mode in practice.

Fig. 4. Interaction of system components in practice



V. CONCLUSION AND FUTHER WORK

In this article, we briefly present the design of an ITS using the IBM Big Data solution. We demonstrated the system ability to support large volumes of traditional and varied data, it was made possible by using InfoSphere BigInsights platform. We also demonstrated the system's ability to adapt the changing of traffic conditions. We used the InfoSphere Streams platform for real time processing of traffic flow data. This platform is well suited to face the challenges of scalability and adaptability. As part of future work, we study about a multimodal path algorithm combining different transport modes and based on different variants. This will be tested on real data of Casablanca city.

ACKNOWLEDGMENT

This research has part supported by the laboratory of computer science and decision aiding, Department of Mathematics and Computer science, Hassan II University of Casablanca. At various points in this research, invaluable help comes from the following team of decision aid and operational research: Pro. Tarik Nahhal, Pro. Brahim Aghezaf and Pro. Abdeltif Elbyed. We would like to acknowledge valuable advices and generous supports from Open Street Map Morocco, M'dina Bus and Casa Tram.

REFERENCES

- [1] E. Bouillet and A. Ranganathan, "Scalable, Real-Time Map-Matching Using IBM's System S," in *2010 Eleventh International Conference on Mobile Data Management (MDM)*, 2010, pp. 249–257.
- [2] A. Biem, E. Bouillet, H. Feng, A. Ranganathan, A. Riabov, O. Verscheure, H. Koutsopoulos, and C. Moran, "IBM Infosphere Streams for Scalable, Real-time, Intelligent Transportation Services," in

- Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, New York, NY, USA, 2010, pp. 1093–1104.
- [3] A. Biem, E. Bouillet, H. Feng, A. Ranganathan, A. Riabov, O. Verscheure, H. N. Koutsopoulos, M. Rahmani, and B. Güç, "Real-Time Traffic Information Management using Stream Computing," *IEEE Data Eng Bull*, vol. 33, no. 2, pp. 64–68, 2010.
- [4] "Understanding InfoSphere BigInsights," 06-Oct-2011. [Online]. Available: <http://www.ibm.com/developerworks/data/library/techarticle/dm-1110biginsightsintro/>. [Accessed: 15-Mar-2016].
- [5] "IBM Streams," 15-Mar-2016. [Online]. Available: <http://www-03.ibm.com/software/products/fr/ibm-streams>. [Accessed: 15-Mar-2016].
- [6] "IBM InfoSphere Warehouse 10.1 components, by edition - France," 01-Oct-2012. [Online]. Available: <http://www-01.ibm.com/support/docview.wss?uid=swg21585911>. [Accessed: 15-Mar-2016].
- [7] "Smart traffic analytics in the semantic web with STAR-CITY: Scenarios, system and lessons learned in Dublin City." [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157082681400050X>. [Accessed: 21-Mar-2016].
- [8] F. Lécué, R. Tucker, V. Bicer, P. Tommasi, S. Tallevi-Diotallevi, and M. Sbodio, "Predicting Severity of Road Traffic Congestion Using Semantic Web Technologies," in *The Semantic Web: Trends and Challenges*, V. Presutti, C. d'Amato, F. Gandon, M. d'Aquin, S. Staab, and A. Tordai, Eds. Springer International Publishing, 2014, pp. 611–627.
- [9] J. Hao, J. Zhu, and R. Zhong, "The rise of big data on urban studies and planning practices in China: Review and open research issues," *J. Urban Manag.*, vol. 4, no. 2, pp. 92–124, Dec. 2015.
- [10] S. Geisler and C. Quix, "Evaluation of Real-Time Traffic Applications Based on Data Stream Mining," in *Data Mining for Geoinformatics*, G. Cervone, J. Lin, and N. Waters, Eds. Springer New York, 2014, pp. 83–103.
- [11] "OpenStreetMap," *OpenStreetMap*. [Online]. Available: <https://www.openstreetmap.org/>. [Accessed: 21-Mar-2016].
- [12] "Welcome to Apache™ Hadoop®!" [Online]. Available: <https://hadoop.apache.org/>. [Accessed: 21-Mar-2016].
- [13] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, and B. N. Levine, "MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks," in *INFOCOM*, 2006, vol. 6, pp. 1–11.

La prédiction du taux d'erreur dans les logiciels orientés- objet

Loubna LAMRINI
Faculté des Sciences et Techniques de FES
FES, MAROC
loubna.lamrini@usmba.ac.ma

Fatima-zahra ELMAZOURI
Faculté des Sciences et Techniques de FES
FES, MAROC
elmazouri.2012@gmail.Com

Résumé La construction de modèles prédictifs d'un logiciel, bien avant sa mise en œuvre, est maintenant une pratique largement menée dans l'industrie du logiciel. Il est bien connu que la production d'un système de qualité nécessite un grand soin dans les premières phases du développement. Nous nous intéressons, dans cette étude, à la phase de conception qui se caractérise par la construction d'un élément crucial pour la description du système, qui est le diagramme de classes, donc la qualité du diagramme de classe a un impact important sur la qualité du logiciel qui sera implémenté après.

L'objectif de notre étude est de sélectionner un ensemble de métriques qui peuvent être extraites à partir d'un diagramme de classe dans le but d'appliquer des modèles de prédiction de défauts lors de l'étape initiale d'un développement orienté-objet. Nous avons utilisé la base de données logicielle PROMISE (PRedictor Models In Software Engineering), qui est un référentiel international dans le génie logiciel. Cette base de données offre une collection de données accessibles au public, à servir les chercheurs dans la construction de modèles prédictifs de logiciels et la communauté de génie logiciel au sens large.

nous avons utilisé trois méthodes du DataMining à savoir les arbres de décision, les machine à vecteurs de support (SVM) et les réseaux bayésiens.

MOTS-CLES: Métrique orienté-objet, qualité logiciel, diagramme de classe, modèles de prédiction de défauts.

I. INTRODUCTION

Il est bien reconnu que la correction des erreurs des applications informatiques est le problème le plus important dans l'industrie de logiciel, comprise entre 60 et 90 pour cent des coûts du cycle de vie [1] [2] le coût de correction d'une erreur au début du projet est beaucoup plus inférieur que lorsqu'on s'approche de la fin du cycle de développement. Pour cette raison, nous avons mis l'accent sur la qualité diagramme de classe, modèle obtenu dès le début d'un projet.

les logiciels actuels sont de plus en plus complexes. le contrôle de leur qualité doit reposer sur des concepts solides [3]. La métrologie, comme dans tous les domaines, reste le moyen le plus objectif et le plus fiable. Le domaine des métriques, en particulier orientées objet, a fait l'objet d'une multitude de travaux. Plusieurs de ces métriques ont été expérimentées dans

la littérature. Néanmoins, certaines d'entre elles étaient définies mais n'ont pas fait l'objet de grande exploitation et validations. L'idée de sélectionner des métriques pertinentes pour prédire les défauts est la principale motivation de ce travail. Vu que le nombre des métriques proposées dans le cas des systèmes orientés objets, est très important, plusieurs problèmes sont soulevés, en particulier, la nature et la quantité d'information qu'elles fournissent et l'unification des métriques avec leurs proches.

II. Etat de l'art sur la métrologie des logiciels orientées objet

depuis le début des années 90, plusieurs métriques ont été proposées. L'une des premières propositions concrètes fut la suite de métriques orientés-objet proposée par Chidamber et Kemerer [4]. Cette proposition est en effet systématiquement citée dans les bibliographies de la grande majorité des travaux importants dans le domaine des métriques orientées-objet. Les travaux récents les citent également [5].

Nous présentons, dans ce qui suit, quelques métriques telles que leurs auteurs les ont proposées.

1. Les métriques proposées par Chidamber et Kemerer

Ces métriques visent, essentiellement, à mesurer la complexité de la conception des classes dans un système orienté objet.

1.1 Weighted Methods Per Class (WMPC)

C'est le nombre de méthodes définies dans une classe. WMPC est un reflet de la complexité. Le nombre de méthodes et leur complexité permettent de prévoir le temps et l'effort requis pour développer et maintenir la classe. La complexité cyclomatique est liée au taux de fautes. Un WMPC élevé est synonyme d'un risque élevé de fautes dans la classe [6].

1.2 Depth OfInheritance tree (DOIH)

C'est le nombre maximum de classes ancêtres de la classe pour atteindre une racine. DIT est un reflet de la complexité via la portée des ancêtres. Le comportement de la classe est plus difficile à prédire quand le nombre de méthodes héritées croît. Plus une classe est loin dans la hiérarchie, moins elle est

générique. Elle peut renseigner un degré de spécialisation important qui fait que la classe s'éloigne de l'abstraction initiale. Le mécanisme d'héritage introduit par la technologie objet permet de garantir une meilleure réutilisation, structuration et encapsulation du code. Cependant, l'héritage doit être utilisé de manière minimale et suffisante. Car, d'une part, l'absence d'héritage est souvent synonyme de manque de réutilisation de code et, d'autre part, des arbres d'héritage très profonds sont des sources d'erreur.

1.3 Number Of Children (NOC)

NOC est le nombre de classes immédiatement dérivées d'une classe. Une classe ayant de nombreuses classes dérivées a un impact fort sur la hiérarchie de classes. Une attention particulière devra lui être accordée

1.4 Coupling Between Object classes (CBO)

CBO est le nombre de couplages (degré de dépendances) entre une classe et toutes les autres classes du système. Des études [7] ont montré qu'un couplage excessif entre les classes nuit à la modularité et diminue la réutilisation. Plus une classe est indépendante, plus il est facile de la réutiliser dans un autre module. De même, Plus le couplage de classes inter-objets est important, plus les tests doivent être rigoureux.

1.5 Response For a Class (RFC)

RFC est le nombre de méthodes (de la classe et d'autres classes) appelées par une classe en réponse à un message. Plus une classe invoque des méthodes de diverses origines, plus elle est compliquée à comprendre. Une classe qui a un RFC grand nécessite plus de rigueur.

1.6 Lack of COhesion in Methods (LCOM)

LCOM est le nombre de méthodes prises deux à deux (paires de méthodes) ne partageant pas des instances de variables de la classe. Moins le nombre de paires de méthodes partageants des instances de variables de la classe, moins la classe est cohésive. Une classe est cohésive si ses méthodes agissent sur le même ensemble de données. Les méthodes sont donc reliées entre elles. Elle renseigne la qualité de la structure de la classe. Cette métrique évalue l'encapsulation. Une classe peu cohésive doit être éclatée en plusieurs autres classes plus cohésives.

2. Critique des métriques proposées par Chidamber et Kemerer

Les métriques Chidamber et Kemerer ont été validées empiriquement par leurs auteurs, ils ont été également validés par plusieurs auteurs après leur publication. Une des premières études conduites dans ce sens a été réalisée par Basili et al. [8]. Par ailleurs, Churcher et al. [9] expriment des réserves sur ces métriques. Tant d'un point de vue historique (travaux

d'Halstead) que d'un point de vue scientifique. Ceci concerne notamment le défaut de méthodologie précise de mesure. Par exemple, suivant le mode de comptage employé, une classe C++ peut voir la métrique WMC varier de 12 à 37.

Hitz et al. [10] quant à eux montrent les limites de la formulation des métriques CBO et LCOM. Cette dernière n'étant valide à leurs yeux qu'avec le mode de calcul proposé par W.Li et al [11]. Sinon, il faudrait expliquer des situations très paradoxales. Notamment celle résultant de l'ajout d'une méthode sur des jeux déjà constitués de méthodes partageant des attributs de la classe. Il peut se produire alors soit une augmentation de la cohésion de la classe, soit une diminution de la cohésion de la classe, soit, ne pas changer la cohésion de la classe.

L'utilisabilité de ces métriques en phase de conception, c'est-à-dire avant le codage est difficile. En effet, la mesure des métriques CBO, RFC et LCOM implique que toutes les classes du système soient déjà implémentées. Ceci limite sévèrement leur emploi aux seules phases finales du cycle de vie du logiciel.

Plusieurs particularités fondamentales de la conception des systèmes orientés objet ne sont pas ou peut être capturées comme l'abstraction, l'encapsulation.

3. Les métriques proposées par Li et Henry

Li et Henry ont proposé 5 métriques qui permettent de mesurer des attributs internes tels que le couplage, la complexité et la taille. Parmi ces métriques nous pouvons sélectionner trois métriques qui peuvent être mesurées à partir du diagramme de classe.

3.1 Data Abstraction Coupling (DAC)

DAC est le nombre de types de données abstraites définies dans une classe (classes dont la définition est incluse dans la définition d'une autre classe). Le DAC évalue le couplage "interne" d'une classe avec d'autres classes.

3.2 Number Of local Methods (NOM)

C'est le nombre de méthodes localement définies dans une classe (hors méthodes héritées). Cette métrique évalue les propriétés opérationnelles d'une classe (interface). Plus le NOM est élevé, plus une classe est complexe. Si une classe a beaucoup d'opérations, elle est difficilement réutilisable et perd souvent de sa cohésion. Il peut être judicieux de la diviser en sous-classes.

3.3 SIZE1

C'est le nombre d'instructions dans l'implémentation d'une classe. Ce nombre est directement dérivé de la métrique traditionnelle Lines Of Code (LOC).

3.4 SIZE2

C'est le cumul du nombre d'attributs et du nombre de méthodes locales d'une classe. De même, ce nombre est indirectement dérivé de la métrique LOC qui évalue la complexité d'une classe.

4. Critique des métriques proposées par Li et Henry

L'utilisabilité des métriques proposées par Li et Henry en phase de conception demeure problématique. Il est difficile d'estimer le nombre d'instructions dans l'implémentation d'une classe. Cet état de fait les rend indisponibles en dehors de tout codage.

5. Les métriques proposées par Abreu, GouUio et Esteves (MOOD)

Le projet MOOD (Metrics for Object Oriented Design) [12] consiste en une proposition de 6 métriques dont les principales caractéristiques sont:

- ✓ Une forte corrélation avec les concepts objet,
- ✓ Une évaluation d'un système dans sa globalité,
- ✓ Une évaluation possible en dehors de toute implémentation pour une utilisation dans le début du cycle de vie,
- ✓ Une expression en pourcentage, éliminant les questions de signification quant à la valeur d'une métrique.

Ces métriques reposent sur le principe suivant :

Métrique = Nombre d'occurrences dans le système/ Nombre maximal d'occurrences dans le système.

Elle s'appuie sur l'hypothèse que la mesure de fréquence d'emploi de certains facteurs de construction orientée objet reflète la qualité de la conception. Ces métriques ont été jaugées sur des réalisations commerciales prises comme étalons d'une bonne conception orientée objet. Il en résulte des recommandations quant aux fourchettes dans lesquelles doivent se trouver chacune de ces métriques.

5.1 Method Hiding Factor (MHF)

C'est le pourcentage de méthodes cachées. le MHF évalue l'encapsulation. La fourchette préconisée est [10%,30%].

5.2 Attribute Hiding Factor (AHF)

C'est le pourcentage d'attributs cachés. l'AHF évalue l'encapsulation. La fourchette préconisée est [70%, 100%].

5.3 Method Inheritance Factor (MIF)

C'est le pourcentage de méthodes héritées. le MIF évalue l'abstraction et la fonctionnalité. La Fourchette préconisée est [65%, 80%].

5.4 Attribute Inheritance Factor (AIF)

C'est le pourcentage d'attributs hérités. L'AIF évalue l'abstraction. La fourchette préconisée est [50%,60%].

5.5 Polymorphie Factor (PF)

C'est le pourcentage de méthodes polymorphes par rapport au nombre total de méthodes potentiellement polymorphes. Le PF évalue la flexibilité. La fourchette préconisée est [3,5%, 10%].

5.6 Coupling Factor (COF)

C'est le pourcentage de classes couplées aux autres classes autrement que par l'héritage. Le COF évalue l'interdépendance. La fourchette préconisée est [4%, 20%].

6. Critique des métriques MOOD

Contrairement aux métriques précédentes, les métriques MOOD présentent des points positifs notables :

- ✓ Elles sont indépendantes du langage de mise en œuvre,
- ✓ Elles sont basées sur les fondements du paradigme orienté objet,
- ✓ Elles s'expriment en pourcentage donc dans une unité largement connue,
- ✓ Elles présentent un caractère opérationnel puisque des plages de variations sont préconisées,
- ✓ Elles peuvent être calculées en dehors de toute implémentation, donc dès les premières phases du cycle de vie du logiciel.

Ces métriques n'ont été testées que par un groupe d'étudiants [12]. Cette validation a montré le caractère prédictif sur la fiabilité et la maintenabilité des métriques MHF, AIF, MIF, POF et COF. Elle montre également de manière surprenante que l'AHF est peu significative.

Un autre groupe de métriques a été également proposé, à cette période, par Badri et al. [13]. Ces métriques présentaient l'avantage d'être applicables dès les premières phases du processus de développement. Elles ont été évaluées théoriquement et n'ont pas fait l'objet d'expérimentation de grande envergure. La métrique de cohésion proposée dans [13] a été cependant reprise et expérimentée . Les études empiriques effectuées [14] ont largement démontré que l'approche de cohésion OO proposée par Badri et al. permettait de capturer plus de paires de méthodes reliées que les métriques de cohésion proposées dans la littérature. Ces études ont permis d'étendre les critères de cohésion OO. Une étude récente a permis de démontrer la forte corrélation qui existe entre la cohésion, telle que définie par Badri et al., et le couplage [15].

7. Dépendance entre métriques

Un des problèmes des métriques, discutés par plusieurs chercheurs, est lié au fait qu'elles ne sont pas linéairement indépendantes. Dans ce cadre, Aggarwal et al [16] ont tenté d'étudier les métriques OO afin d'isoler un groupe de métriques plus restreint capable de remplacer l'ensemble des métriques existantes. En appliquant une analyse par composante sur le jeu de mesures obtenues sur trois logiciels différents, ils ont réussi à isoler un certain nombre de métriques qui capturent la majorité de l'information contenue dans leur ensemble de mesures.

Ils ont, par ailleurs, réussi à donner un sens aux 3 premières composantes de l'ACP, en remarquant que la première colonne identifiait les métriques de taille, la deuxième était reliée à la cohésion, et la quatrième à l'héritage. Les autres composantes étant plus difficiles à interpréter. Malheureusement, dans leur étude, l'analyse n'a été effectuée que sur des logiciels de petite taille.

II MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTAT

L'objectif de cette étude est l'exploitation des métriques OO pour la prédiction des défauts. Cette section décrit le processus de la collecte des données et les techniques utilisées pour les analyser.

1. La collecte des données

Les données utilisées sont collectées à partir de la base de données PROMISE (PREDictOr Models In Software Engineering) mise en ligne par la NASA [17]. PROMISE est un référentiel dans le génie logiciel. Elle collecte des ensembles de données sur des projets logiciels sous forme de plusieurs bases de données. Chaque base de données est représentée sous forme de fichier CSV contenant le nom du projet, sa version, les métriques utilisées et un attribut pour le nombre des défauts détectés.

Notre choix de données s'est tourné vers les métriques OO qui peuvent être extraites durant les premières phases du cycle de vie d'un logiciel. Nous avons opté pour les métriques décrites dans le tableau 1.

Tableau 1. Les métriques sélectionnées dans l'étude

Métrique	Description
WMC (Weighted methods per class)	Le nombre des méthodes par classe ou simplement la somme de la complexité de ses méthodes.
DIT (Depth of Inheritance Tree)	la profondeur d'héritage
NOC (Number of Children)	Le nombre d'enfants des classes
NPM (Number of Public Methods)	La métrique NPM compte toutes les méthodes dans une classe qui sont déclarées comme publiques. Elle peut être utilisée pour mesurer la taille d'une API fournies par un paquet.
DAM (Data Access Metric)	Cette métrique est le rapport du nombre d'attributs privés (protégés) au nombre total d'attributs déclarés dans la classe.
MOA (Measure of Aggregation)	Le nombre de déclarations de données (champs de classe), dont les types sont des classes définies par l'utilisateur
MFA (Measure of Functional Abstraction)	Cette métrique est le rapport du nombre de méthodes héritées par une classe et le nombre total de méthodes accessibles par des méthodes de membres de la classe.
CAMC (Cohesion Among Methods of Class)	Calcule le degré de parenté entre les méthodes d'une classe sur la base de la liste des paramètres des méthodes.

Ci-dessous un extrait de données utilisées.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	name,version,name,wmc,dit,noc,npm,dam,moa,mfa,cam,bug							
2	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ClassMap,3,1,0,2,1,0,0,0.555555556,0							
3	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ClassMetricsContainer,3,1,0,2,1,0,0,0.555555556,0							
4	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ClassMetrics,23,1,0,22,1,0,0,0.405797101,8							
5	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ClassVisitor,13,2,0,9,0.875,2,0.727272727,0.240384615,6							
6	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ant.PrintXmlResults,4,1,0,4,1,0,0,0.4375,4							
7	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.PrintPlainResults,2,1,0,2,1,0,0,0.625,0							
8	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.MethodVisitor,11,2,0,8,1,2,0.947368421,0.173553719,0							
9	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ant.CkjmTask,5,4,0,5,1,0,0.951219512,0.533333333,2							
10	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.CkjmOutputHandler,1,1,0,1,0,0,0,1,0							
11	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.MetricsFilter,7,1,0,5,1,0,0,0,2,3							

2. MODÈLES D'EXPLORATION DE DONNÉES

Nous avons utilisé trois modèles pour la prédiction de défaut. nous avons utilisé les naïfs de Bayes, les Machines à vecteurs de support (SVM) et les arbres de décision. Ils sont choisis en raison de leurs capacités de classification. Les données d'entrée sont divisées au hasard en deux ensembles, un ensemble d'apprentissage et un ensemble de tests. L'ensemble d'apprentissage est utilisé pour créer le modèle d'exploration. L'ensemble de test est utilisé pour vérifier la précision du modèle.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'étude de la précision des différentes méthodes appliquées est une tâche importante pour évaluer l'exactitude des résultats obtenus. Le tableau 2 donne la précision de chaque méthode par rapport à la valeur réelle.

Tableau 2. Résultat de convergence de chaque méthode

Valeur réelle	Arbre de décision	Réseau bayes	SVM
1	1	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1
1	2	2	1
1	1	0	1
1	1	1	1
2	1	2	1
2	2	2	1
3	1	4	1
2	1	3	1
Precision	0.911	0.718	0.992

La précision donnée par chaque méthode montre que les arbres de décision et les SVM ont une grande efficacité au niveau de la prédiction. Les résultats obtenus montrent clairement que la métrologie en génie logiciel est un axe de recherche très prometteur, du fait que les métriques utilisées dans cette étude ont permis une estimation très proche de la valeur réelle.

nous avons noté que plus la DIT et la NOC ont de grandes valeurs, plus la probabilité de détection de défaut est importante.

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La motivation principale de ce travail de recherche consiste à prédire, dans les phases amonts de la conception, le taux des défauts dans les logiciels orientés objets. Ce qui permettra d'éviter les échecs lors de l'exécution du logiciel et d'éliminer les raisons principales des bugs.

Les métriques sélectionnées peuvent aussi servir à prédire des indicateurs de qualité afin d'identifier une démarche d'assurance qualité dès le début du cycle de vie. Elles peuvent aussi représenter un support très puissant pour la prédiction de l'effort de développement et la priorité des tests. Ces études feront l'objet de travaux futurs.

L'analyse des métriques orientées objets sélectionnées, sur plusieurs projets logiciels, nous a permis de démontrer leur efficacité à prédire les défauts. La forte convergence des différentes techniques appliquées démontrent que ces métriques constituent des indicateurs très solides de la qualité. Les résultats obtenus sont très positifs à plusieurs niveaux. Ils permettent également d'envisager plusieurs pistes de recherche dans le cadre de travaux futurs.

Références

- [1] CARD D., GLASS R., "Measuring Software Design Quality", Englewood Cliffs, USA, 1990.
- [2] PIGOSKI T., Practical Software Maintenance, Wiley Computer Publishing, New York, USA, 1997.
- [3] Hall T, Beecham S, Bowes D, Gray D, Counsell S. A systematic literature review on fault prediction performance in software engineering. Software Engineering, IEEE Transactions on 2012;38(6):1276-304.
- [4] S.R. Chidamber, C.F. Kemerer. "A metrics Suite for Object Oriented Design". IEEE Transactions on Software Engineering, Vol.20, No.6, June 1994.
- [5] K.K. Aggarwal, S. y ogesh, K Arvinder, M. Ruchika "Empirical study of Object-Oriented Metrics" Journal of Object Technologie vol 5 No 8 Nov/Dec 2006.
- [6] V.R. Basili, L.C. Briand, and W.L. Melo, "A Validation of Object-Oriented Design Metrics as Quality Indicators," IEEE Transactions on Software Engineering. vol. 22, no. 10, pp. 751-761, Oct. 1996.
- [7] L.C. Briand, J. Wüst, and H. Lounis. "Using Coupling Measurement for Impact Analysis in Object-Oriented Systems", in the Proceedings of IEEE, International Conference Software Maintenance (ICSM), pp. 475-482, Oxford, England, Aug./Sept. 1999.
- [8] V.R. Basili, L.C. Briand, and W.L. Melo, "A Validation of Object-Oriented Design Metrics as Quality Indicators," IEEE Transactions on

Software Engineering. vol. 22, no. 10, pp. 751-761, Oct. 1996.

- [9] N.r. Churcher and M.J. Shepperd, "Comments on "A Metrics Suite for Object-Oriented Design", IEEE Trans. Software Engineering, vol. 21, no.3 pp. 263-265, Mar. 1995.
- [10] M. Hitz and B. Montazeri, "Measuring Coupling and Cohesion In Object-Oriented Systems", Symp. Applied Corporate Computing (ISACC '95), Monterrey, Mexico, Oct.25-27, 1995.
- [11] W. Li & S Henry, "Maintenance Metrics for Object-Oriented Paradigm", in Proceedings of the First International Software Metrics Symp., pp. 52-60, May 1993.
- [12] F. B.; Melo, W. L. "Evaluating the Impact' of ObjectOriented Design on Software Quality", in the Proceedings of 3rd International Software Metrics Symposium (Metrics'96), Berlin, Germany, March 96.
- [13] L. Badri, M. Badri et S. Ferdenache: "Towards Quality Control Metrics for Object-Oriented Systems Analysis", in the Proceedings of TOOLS Europe'95 (Technology of ObjectOriented Languages and Systems), Versailles, France, Editions Prentice-Hall International, Mars 1995.
- [14] L. Badri & M. Badri: "A Proposal of a New Class Cohesion Criterion: An Empirical Study", in Journal of Object Technology (JOT), vol. 3, no. 4, pp. 145-159, Special issue (best papers) of TOOLS USA 2003, April 2004.
- [15] L. Badri, M. Badri & Alioune Gueye: "Revisiting Class Cohesion: An empirical investigation on several systems", in Journal of Object Technology (JOT), Juillet - Août 2008, à paraître.
- [16] K.K. Aggarwal, S. y ogesh, K Arvinder, M. Ruchika "Empirical study of Object-Oriented Metrics" Journal of Object Technologie vol 5 No 8 Nov/Dec 2006.
- [17] PROMISE Software Engineering Repository Public Datasets. <<http://promise.site.uottawa.ca/SERepository/datasets-page.html>>.

*Speech synthesis as a valuable aid for learning foreign languages**

Zineb SAALAOUI

University Mohammed, department of computer science.

LARi

Oujda, Morocco

z.saalaoui@ump.ac.ma

Abdelaziz AIT MOUSSA

University Mohammed, department of computer science.

LARi

Oujda, Morocco

aitmoussaabdelaziz@gmail

Abstract— The way children can acquire a language inspire different fields of research, one of them is language learning and teaching, thus many research tries to imitate this natural process to improve teaching techniques thought including speech synthesis techniques in the teaching process. If we take a closer look to the process of the learning of the toddlers, we shall understand that it's all depending on grasping a big amount of speech sentences. This work was oriented in this perspective, the main idea is to include speech synthesis or technically speaking, TTS which stands for Text-to-Speech synthesis (the generation of speech from text input) engine to the learning process as a part of it. Yet, the use of TTS synthesis in language learning is not widely used and only a few applications have found their way onto the market. this article deals primary with the techniques used for teaching Arabic as a foreign language for non-native speakers, then the focus is moved to the Text-to speech synthesis, in this part we expose the main parts of this technique in addition to the phonetic database recorded for this purpose, since The Arabic language is in dire need for additional phonetic resources.

Keywords—*Learning ; speech synthesis ; Text-To-Speech; phonetic Database.*

I. INTRODUCTION

“It’s all about connection”

“Connections” as simple as this word may appear, connections is what makes people learn. If we start with the biological level, the connections are between neurons, which grow stronger whenever we have a new experience. At the mental level, the connections form between concepts, when we associate one idea with another by memorizing, or by experiencing how objects and actions relate. And at the social level, the connections take the form of conversations, as we meet people and share ideas. The surprising fact is that people don’t need to push themselves to make these connections, they come naturally. Learning is a spontaneous action correlated to civilization.

Usually, the reason why the process of learning seems hard for some, comes from trying to control the natural process, when the learner forces himself to learn particular topics or a new skill such as a new language. The brain does not store items separately, therefore forcing to remembre disconnected facts is

not a natural way to learn. Having or listning to interesting discussions, either spoken or in writing, allows learners to connect and understand at all levels of ideas, facts and experiences. Learning gives knowledge, knowledge gives confidence, confidence gives character and character creates a person. Nowadays, learning is taking advatange of the intrusion of computer in our daily life, more more and more learners are now using computers to learn all different things, technologies skills and languages, since the computer assisted learning provides a number of advantages for learning language is specific and so many other thing in general:

- The computer might provide a realistic learning environment, since listening can be combined with seeing, just as in the real world. Multimedia and hypermedia technologies allow a variety of media (text, graphics, sound, animation, and video) to be accessed on a single machine. Hence, skills are easily integrated, since the variety of media makes it natural to combine reading, writing, speaking and listening in a single activity.
- A computer can present such material on an individualized basis, giving students some space to proceed at their own pace and freeing up time dedicated previously to the class for other activities.
- Internet technology facilitates communications among the teacher and the language learners. It allows a teacher or student to share a message with a small group, the whole class, a partner class, or an international discussion list of hundreds or thousands of people.
- The process of finding the right answer involves a fair amount of student choice, control, and interaction.
- Incorporating Natural Language Processing (NLP) techniques provide learners with more flexible, smart feedback and guidance in their language learning process.

II. TEACHING ARABIC TO NON-ARABIC NATIVE SPEAKERS:

Being well-prepared is the most important way to improve your experience of learning, prepare mentally, by setting yourself goals you can achieve, and then checking how you are performing as the course progresses.

In order to optimize the way of learning and make it enjoyable as well as efficient, learners have to set up the conditions for foster the process of making good connections, that means

being relaxed and alert, so that the mind has the fair conditions and can focus on the immediate experience, and be surrounded by a rich environment where there are plenty of opportunities to make relevant connections.

The best way to learn a foreign language is to hear these language spoken with native speakers, as babies and toddlers do in their first years, they start by hearing then they associate what they have heard to a certain context, Therefore one good way to learn a language is not through trying to remember individual words, but by hearing full sentences read by a synthesizer in ELearning platform. The more we enjoy the process of learning, the more we make rich and appropriate connections.

Every time learners say to themselves “What does this mean?” or “Why are they saying this?” they are learning by reflective conversation that can be monitored by the process of hearing, taking this in consideration, the current ways used to teach the language for non-native speakers can be improved by including Speech synthesis in the process of learning and teaching as well.

By thinking about what they have just learnt, focusing on what's new and important, learners are making the long-term links between the neurons that form our memories.

Students working on their own need some self-awareness, some way of keeping an internal monitor on their approach. The key idea is to have a real interest for the language and hear the biggest amount of sentences possible in the target language.

A. Arabic language:

The Arabic language belongs to the Semitic group of languages which also includes Hebrew and Amharic. Last statistics shows that Arabic is the 5th language widely spoken in the world wide, within 295 million native speakers which means that 4.23% of the world's population speaks it, let alone the non-native speakers that have learned it as a second or a third language, since it is the sacred language of the Koran and Islam. The last few decades were witness of the large spread of Islam, thus the language became a liturgical language. Arabic either refers to Standard Arabic or to the many dialectal variations of Arabic. While Standard Arabic is the language used by media and the language of Qur'an, Dialectal Arabic refers to the dialects derived from Classical Arabic(3). MSA has about the same role in the Arab world that Latin had in medieval Europe: It's the language of writing, religion, and formal speeches, but it is no one's native spoken language any more. Modern Standard Arabic is generally adopted as the common medium of communication through the Arab world today.

The Arabic alphabet consist of twenty eight consonants (some may argue that the letter (alif) is the twenty ninth consonant, while others consider the (alif) as a long vowel), six vowels three of them is a long ones, the others are short ones and two semi-vowels, which are diphthongs.

The short vowels (, ,) are placed above or below consonants that proceeds them. When the consonant has no vowel, it will mark an absence of vowel represented in Arabic by a silent vowel () Long vowels are long letters, they are

formed by a brief vowels and one of the following letters (, ,) (2). The Arabic is written from right to left and there is no difference between upper and lower case. Most of the letters are attached to one another and they vary in writing whether they connect to preceding or following letters (3)

Arabic has 30 phonetically distinct consonant segments, and 6 vowels as mentioned before. If we compare the English and Arabic inventories against the representatives of the world's languages as included in UCLA (University of California) Phonological Segment Inventory Database, commonly known as UPSID, the following comments can be made. In terms of the number of consonants, Arabic is situated within the average range of 20 and 37 segments though most languages tend towards 20 to 27 sounds. However, if we add the 24 Arabic geminates, the total number of consonant segments in Arabic goes up to 53, i.e. 2.3 times the mean for the world's languages.

B. Challenges of learning Arabic :

The Arabic language is one of the most popular languages over the world, the motivations behind learning Arabic might vary from a person to another, and some may choose to learn the language to communicate more effectively while others have religious motivation, since the Arabic is the language of Quran and one of the Semitic language still used. A Survey done on a portion of 30 non-natives Arabic learners revealed that the difficulties related to the Arabic can be summarized as below:

- *The script:* the alphabet is bit different and written from right to left, it takes time for non-Arabic learners to get used to it, in addition to the fact that most of the letters have four different forms, depending on whether they stand alone or come at the beginning, middle, or end of a word. The written system of Arabic as Hebrew one might omit most vowels, the reader can guess them with habit, but for beginners it represent an issue.
- *Reproducing the alphabet sounds:* The majority of Arabic learners claim they found the pronunciation of the Arabic sounds difficult especially : ح ع غ ق and the fricative (kh).
- *Reading Comprehension and a vast repertory of vocabulary:* The Arabic vocabulary is one of the richest vocabularies since Arabic is known as the language of synonyms, some words may have more than 30 synonyms, which make the Arabic sentence a very complex structure semantically.

C. Technology and learning :

This paragraph is a closer view at the creative methods of teaching the Arabic language using state of art technology. Arabic language, when taught as a second language, is perceived by the learners to be the most difficult subject. Field-

tested theories of teaching are ought to be used in order to teach the Arabic Language effectively. Technology can play a vital role in the contemporary language class. While traditional methods (lecture, drill, workbooks, etc.) continue to be valuable instructional options for building basic skills, today's learners are generally tech savvy and ready to embrace more interactive approaches.

The current methods have to be enhanced and update by blending multimedia to aid their teachings in order to gain learners' attention. Paul Catley satates in his work published in 2005 that Using technology and multimedia not only motivates learners, but it also enhances their performance in the classroom.

Study claims that Arabic Language can be learned more efficiently if sounds , patterns, gestures, symbols and blend multimedia are included in everyday lessons, Computer mediated teaching methods not only provide opportunities for the teachers to prepare excellent instructions, but it also paves the way for more challenging and more meaningful learning environments, Learning and teaching do not happen in isolation. It involves learning plan and student- instructor collaboration. If teachers introduce plan-oriented learning models to their students, it motivates them and helps them to continue learning (4).

III. ARABIC SPEECH SYNTHESIZER

Speech is a fundamental means of communication which makes us, humans, so unique. It plays a important role in any human interaction and fulfills a wide range of functions, from pure information transfer to the acquisition of a language. The auditory speech signal consists of a series of speech sounds that are produced by the human speech production system. For more than fifty years now, technology has been associated to this very complex form of communication, in a first attempt to produce speech sounds. Speech synthesis or Text-to-speech TTS aims at the pronunciation of an unknown text by a machine. In 2011, LT-Innovate indicated that the speech technology and service markets accounted for nearly 6 billions dollars worldwide, with a high expected growth in the following years. The interest for research in the domain is therefore striking.

Speech synthesis technology has greatly been improved over the last decade such that the quality of speech output in many applications can approach that of pre-recorded speech. The development of unit selection speech synthesis (5) is mainly based on the selection of the appropriate sub-word units from a large database of natural speech pre-recorded, Synthesizer

The main parts of synthesizer are :

- Natural Language Processing (NLP) Module: This module is in charge of the linguistic analysis of the text, and the generation of the phonetic transcription that will be passed to the Digital Signal Processing Module. The main components of this modules are :Text analyzer, phonetization

and prosody generation(prosody refers to rhythm, stress and intonation of speech)

- Digital Signal Processing (DSP) Module: This unit transforms the phonetic transcription received previously from the NLP unit into machine speech.

A. *Speech synthesis techniques:*

The main techniques used in speech synthesis are Articulator synthesis, Formant synthesis, and Concatenative synthesis respectively listed by their apparition. Articulatory synthesis try to model the human speech production system directly.

While Formant synthesis, models the pole frequencies of speech signal or transfer function of vocal tract based on source-filter-model. Concatenative synthesis uses different length pre-recorded samples derived from natural speech.

The available TTS systems mostly use either concatenative or formant synthesis technique. Each technique has its own points of strength and weakness and suits a specific language while doesn't for others. (6)

B. *Concatenative speech synthesis:*

Concatenative speech synthesis can be achieved in two distincts ways, either by concatenating a fixed number and size of units (such as phones or diphones) or by concatenating a variable size unit, which is called unit selection. Comparing to unit selection, diphone synthesis are more challenging in terms of signal processing, since only one example of each unit exists in the database. On the other hand diphone synthesis is to prefer when building applications like mobile devices, where the memory size is the main concern.(7)

C. *Database preparation and record:*

In order to perform concatenative speech synthesis, a database containing original audio speech recordings should be created, for this purpose a voice actor should records many speech units of the corpus that are previously listed in an unit inventory. This consist an important off-line step since the quality of the database and its properties for a great deal determine the attainable synthesis quality thus alter the intelligibility of the speech produced. Since the speech synthesis involves the concatenation of original speech segments already stored in the database and previously extracted for a continuous natural speech, it is important that the original speech data is consistent throughout the whole dataset.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

To be able to evaluate the accuracy of the speech synthesis in the process of learning, an investigation has been conducted and evaluated by 30 non-native learners, in order to determine learners' preferences and behavior toward Arabic learning platform, further questions were about the use of voice conversion techniques that can produce speech that approach the human speech. The preferences of learners are presented in Table1. It is evident from this table that learners still trust the old school and the traditional techniques deployed when in

comes to Arabic language rather than the E-learning solutions to learn new languages unlike the others languages, with which learners prefer to learn them in a distant training or Elearning platform.

TABLE I. LEARNER'S PREFERENCES

<i>Traditional learning method</i>		<i>E-learning</i>	
Other languages	Arabic Language	Other Languages	Arabic language
40%	56.6%	60%	43.3%

Speech Synthesis technology has improved greatly in the last few years, such that the quality of speech output in many application might approach that of prerecorded speech. Table 2 shows that the majority of learners that have been asked declared that they have found the inclusion of speech synthesis in an E-learning platform very useful, for 22.2% who found it useless.

TABLE II. SPEECH SYNTHESIS

<i>Used Speech Synthesis</i>		<i>Didn't use speech synthesis</i>
Did find it usefull	Did find it useless	
38.8%	22.2%	38.8%

The naturalness of unit selection systems depends greatly on the databases recordings, therefore the design of an appropriate database become an appealing need either for the speech synthesis and the education field.

The appropriateness of a voice is critical to acceptance in an application (7). Depending on the general style of the teaching methodology, the style of the voice can be chosen, for instance, if the application is an authoritative, source a "news reader" style may be very appropriate. But if the system is to act like "peer" it would be better to have a speech style close to the user. Also it is worth considering the non-standard voice. Listeners seem to accept errors in novelty voices more than in the highest quality voice. Basically news readers or newscasters are not supposed to make mistakes while cartoon characters can (8).

V. CONCLUSION :

This paper is a first attempt to highlight the importance of speech synthesis in the process of teaching a language, Arabic in particular. Furthermore, in language education systems, quality of the speech synthesized turns to be more crucial than overall fluency, which is predictable since the process of acquisition of the first language is based on hearing a big amount of speech and associate it to a certain context.

Acknowledgment

I would like to thank all the volunteers who participated in this study. I am also grateful to the teachers and linguistics who gave me the access to their classes. My special thanks to Dr. AIT MOUSSA and Dr.DUTOIT for their insightful ideas and guidance. My thanks to all my colleagues, family for their support. I am also greatly indebted to the many insightful comments of the reviews of the early draft of this paper.

References

- [1] Ahmad, T., Härdle, W., & Klinke, S. (2007). *Using wiki to build an e-learning system in statistics in Arabic language.*
- [2] Krichi, M. K., & Adnan, C. (2014). The Arabic Sneech Database: PADAS. *Signal Processing: An International Journal (SPIJ)*, 8(2), 10.
- [3] Assaf, M. (2005). A Prototvne of an Arabic Diphone Speech Synthesizer in Festival. *Master's thesis, Uppsala University.*
- [4] Faryadi, Q. (2007). *Techniques of Teaching Arabic as a Foreign Language through Constructivist Paradigm: Malaysian Perspective. Online Submission.*
- [5] Hunt, A. J., & Black, A. W. (1996, May). *Unit selection in a concatenative speech synthesis system using a large speech database. In Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1996. ICASSP-96. Conference Proceedings., 1996 IEEE International Conference on (Vol. 1, pp. 373-376). IEEE.*
- [6] Khalifa, O. O., Obaid, M. Z., Naji, A. W., & Daoud, J. I. (2011). A rule-based Arabic text-to-speech system based on hybrid synthesis technique. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(6), 342-354.
- [7] Nass, C. I., & Brave, S. (2005). *Wired for speech: How voice activates and advances the human-computer relationship.* Cambridge: MIT press.
- [8] Black, A. W. (2007, October). *Speech synthesis for educational technology. InSLaTE (pp. 104-107).*

Big Data and Finance

A.Moussi

Research Center of the Higher Studies School of Engineering
EHEI- Rue de la liberté, Hay Al Hikma
Oujda, Morocco
Abderrahmane.moussi@gmail.com

Abstract— In this paper, we discuss the exploitation of Big Data in finance, particularly, we discuss financial opportunities to better management and challenges related to the emergence of big data. We review various works putting big data at the service of finance using analytical or predictive techniques. Furthermore, we recall some methods suitable to handle and extract relevant information from big data.

Keywords—Big Data; Data analytics; HFT; Risk management; Finance; Capital Market; Machine learning; Statistical learning; Prediction.

I. INTRODUCTION

Finance is based on a compromise between the risk taken and the expected profitability. Good management is required to ensure the sustainability of financial institutions. This good management is mainly result of sufficient information and robust models, to take suitable decisions.

The concept of “too big to fail” was until 2008, with the fall of Lehman Brothers, one of the most “repeated” assumptions in debates around financial risks. The 2007 crisis highlighted that the size of a financial institution was not a more important factor than the risk management itself.

According to Diebold, the word “big Data” emerged From the mid 1990s [1]. In the same work, Diebold makes the difference between big data as phenomenon, term and as a discipline. Thereby, big data is a difficult concept to define. Nevertheless, big data is often defined as the three V's corresponding to volume, variety, velocity [2]. Another V has been added to the list by some academics over the last few years; veracity, which relates to measurement or labeling of the integrity or quality of the data being processed or stored; thus a reflection of the rising importance of data transparency [12]. To give a simple definition, even simplistic, we can say that Big Data is a large or very large amount of data, structured and unstructured, from different numerical sources whose handling require the implication of several disciplines.

With the internet and the emergence of social media, blogs and discussion platforms as well as intelligent devices, financial institutions have new information sources, new challenges and opportunities. Manpreet Singh [13] analyzed the growing need of Big Data technology in financial domain, especially in Capital Markets. Further, he pointed out that the financial risk management and trading analytics were a major reasons for the connection made between finance and big data.

In order to exploit the power of this large data flows serving the financial activity as well as managing associated risks, works has been carried out, using and combining existing methods as well as by introducing new approaches analysis. Thus, In [14], authors take two approaches to prediction of financial markets using text data downloaded from web bulletin boards. The first uses maximum entropy text classification to predict, based on the whole body of text. The second uses a genetic algorithm to learn simple rules based solely on numerical data of trading volume, number of messages posted per day and total number of words posted per day. In [15], a discussion about how the big data predictive analytics is influenced in the financial market mainly in the stock exchange and financial volatility.

Most work linking finance and big data were focused on techniques of predictive big data analysis via the use of, especially, sentiment analysis. Indeed, in [4], authors study the effect of more than 1.5 million messages posted on Yahoo! Finance and Raging Bull about the 45 companies in the Dow Jones Industrial Average, and the Dow Jones Internet Index. They concluded that the stock messages help predict market volatility, but not stock returns. Moreover, authors of [5], based upon dataset of over 20 million posts made on the site LiveJournal, demonstrate that anxiety, worry and “fear from”, predict downward pressure on the S&P 500 index. They also confirmed this result using Monte Carlo simulation.

Another type of work which making connection between finance and big data is based on Twitter posts. In fact, a work done by Zhang *et al.* [6] makes prediction of stock market indicators such as Dow Jones, NASDAQ and S&P 500 by analyzing Twitter posts. Authors found that emotional tweet percentage significantly negatively correlated with these market indicators but displayed significant positive correlation to VIX. In [7], authors studied the problem of correlating micro-blogging activity with stock-market events, defined as changes in the price and traded volume of stocks using Twitter as a data source and found that the correlation is stronger with the traded volume than with the price of the stock. The authors of [3] have rather focused on the tweets credibility. Indeed, using stock tweets, showed that it is beneficial to distinguish expert users from non-experts on stock microblogs. Further, they found that distinguishing experts from non-experts combined with unsupervised learning allow us to predict stock price movement with high precision.

Other authors go further like E.D. Brown who concluded that Twitter can be used as a predictive tool for decision support for investing decisions [9].

Studies evolving in the same direction, but using Google Trends as source was done. In fact, authors of [10] provided a quantification of the relationship between changes in search volume and changes in stock market prices by analyzing changes in Google query volumes for search terms related to finance, and found patterns that may be interpreted as “early warning signs” of stock market moves. These results were confirmed by [11] in which authors showed that Google Trends contains enough exploitable information to improve trading performance, focusing on the fact that the choice of keywords is crucial.

In this work, we will show the usefulness of Big Data in finance including risks management, either for the retail banking or for investment institutions. Then we will discuss about high-frequency trading which is a result of big data emergence. Afterward, we will highlight the importance of big data analytics. Finally, we will recall some methods that can help to predict or extract information in the big data framework.

II. BIG DATA AND FINANCE

A. *Big Data in finance*

Business intelligence and analytics and the related field of big data analytics have become increasingly important due to their power to bring about solution in various fields [27]. Finance with its various forms is not the exception, on the contrary, big data technologies, analytics and solutions seem to interest more and more finance practitioners. In what follows, we focus on uses of the big data analysis.

One can consider that the craze of finance for big data as natural because the four V of big data are the core of financial activity. Indeed, data of financial institutions are increasing. In addition, the size of data available to an institution is considered as an essential source of information for good management. Then, the transmission speed of its large amounts of data plays an important role for adequate reactions of financial actors and the real-time is desired, especially in financial market. Big data offers also a wide variety of information extracted from a variety of data sources, encompassing data from mobile devices, social media applications, website, etc., that are advisable to integrate in every financial analysis because they help to have varied management elements. Veracity of big data plays a very important role in financial framework, maybe more than in other areas. In fact, The lack of veracity for financial management purposes in the context Big data leads to conclusions that can undermine the activity. So, when handling data extracted from web, in general, one must take into account the basic tenets "Anybody can say Anything about Any topic (AAA)" [28]. The importance of veracity is confirmed by [3] when authors have shown that when using stock tweets, it is beneficial to distinguish expert users from non-experts on stock microblogs.

According to [29] the needs of big data analysis in finance are different depending on the nature of the financial institution activity. Indeed, For retail banks, the big data analysis is mainly to attract new customers by operating on behavioral analysis and profiles of its customers. For investment banks the need of big data analysis is for increase the result in making good decisions, this requires the mastery of its exposure to financial risks.

The classical way to manage the financial risks faced by firms is based on the analysis of internal data, often quantitative. The 2007/08 crisis demonstrated that approaches in place to manage risks are relatively inadequate compared to most risks faced by banks today. So, risks management has requested far more advanced solutions. One of these solutions was the integration of big data analysis to prevent different risks. The concept of big data has been applied to a whole host of industries but the capital markets have been relatively slow to adopt these strategies. Big data in capital markets is a long way off being considered mature. However, Big data strategies have begun to make some impact in a select few areas of the capital markets over recent years, including within sentiment analysis for trading, risk analytics, and market surveillance [12].

a) Trading analytics: For trading purposes, the connection made between finance and big data is based mainly on the High volume of historical trading data stored, on the analysis of social networks including Facebook and Twitter, on site analysis of specialized blogs discussion, economic information website and emails, etc.; The analysis of these resources aims, principally, to build backtest strategies for financial models and to build also predictive models of stock market levels and trading volume. In terms of insight, this can be related to the identification of trading opportunities in the market, the running of market exposure analytics for portfolio managers and traders examining data on a real-time basis, running stressed scenarios via interactive scenario modeling, and responding to these results [12].

A reference work in this direction is that of Werner Antweiler and Murray Z. Frank [4] in which they found correlation between activity in Internet message boards, stock volatility and trading volume. However, to extract helpful insight from different information sources, the choice of suitable keywords well as the reputation of the publisher is crucial (see for example [11] and [3]) even if all internet messages are also important and can influence over the movements of financial market and so on trading activity. In fact, the effect of the internet rumors on exchanged volumes was studied in [8].

In addition to what we just discuss, Trading Analytics includes also various analytics areas in trading for High Frequency Trading (HFT), pre-trade decision, supporting analytics for frequent trades, sentiment measurement and temporal analytics, etc.[13]. We will return, later in this paper, to the HFT.

b) Risk management: Risk management is at the heart of the financial activity, not just to ensure the sustainability of financial institutions, but also to be in compliance with various

regulatory imposed over the previous decade. Financial institutions confront new regulations and are preparing for the upcoming regulations Like EMIR, Bale III, solvencyII, etc. Big Data technologies are needed in solving risk management issues. Indeed, the calculations can be performed while accessing the data. Whether cross-analysis or integration of information on risks and financial trends in order to adjust the returns and balance sheets. Further, Big Data technologies can help risk teams gain more accurate risk intelligene, drawn from a variety of data sources, in almost real time.

The figure below gives a non-exhaustive list of financial risks concerned with big data.

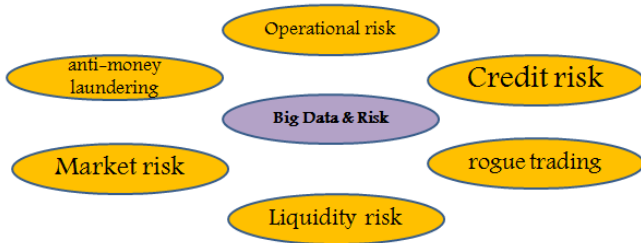


Fig. 1. kinds of financial risk for which big data can be used.

Big Data technologies are needed in solving risk management issues. Indeed, the calculations can be performed while accessing the data. Whether cross-analysis or integration of information on risks and financial trends are needed in order to adjust the returns and balance sheets. Further, Big Data technologies can help risk teams gain more accurate risk intelligene, drawn from a variety of data sources, in almost real time.

Note that credit risk and liquidity risk are intrinsically linked. Moreover, the credit risk was one of the principal causes of the recent financial crisis. The older models used to predict the credit worthiness of a company can be supplemented with input and analysis from big data. In fact, big data offers a wide variety of information; these variables can be integrated into more traditional credit rating models to identify hidden patterns that can lead to better predictive abilities regarding credit worthiness. This hybrid model would allow a more accurate way to apply credit ratings to financial companies [13].

An other example in which big data framework can be useful for credit risk: Credit Value Adjustment (CVA) calculations can take anywhere from 30 minutes to 30 hours or more to run for large over-the-counter (OTC) portfolios—clearly not something which fits into the required pre-trade category. In a typical CVA model, 5 to upwards of 50 million simulated values are calculated per trade. Large sell side portfolios consist of hundreds of thousands, if not millions, of outstanding OTC transactions. The resulting data size alone is in excess of 10 terabytes of data, making effective CVA a true Big Data problem [30].

For market risk, several works cited above assert that internet social media, etc. ; contain sufficient information to be able to predict market trends. Otherwise, in [15] authors argue

that financial volatility is predictable and deals with the historical data which are a time series model.

Note that an approach was proposed in [31], based on a Bayesian inference method, that allows for a combination of Internal data, relevant external data and expert opinion to estimate the parameters of the risk frequency and severity distributions. On another side, authors of [32] claimed to have built a fraud risk monitoring and management system, at Alibaba, based on real-time big data processing and intelligent risk models. It captures fraud signals directly from huge amount data of user behaviors and network, analyzes them in real-time using machine learning, and accurately predicts the bad users and transactions. Recently, in [33], authors consider that "the risk of risks" is reputation risk, and this is why companies should develop better tools and analysis methods for utilizing their internal big data for identifying reputation risks.

B. Algorithmic trading and High-Frequency Trading (HFT)

Among the most important innovations in the domain of market finance brought by the use of big data is algorithmic trading. This is a type of trading using electronic platforms for entering trading orders by leaving an algorithm decide the moment of opening or closing (the timing), the price or volume of the order. The algorithm can be created with structured and unstructured data, incorporating real-time news, social media and stock data coupled with mathematical models. A kind of algorithmic trading is called high-frequency trading (HFT) in which computers take complex decisions to issue orders on the basis of information which is received through electronic way, before that human operators are capable of processing the information they observe. Often, The terms “algorithmic trading” and “high-frequency trading” mixed up in the public debate. In contrast to traditional trading strategies, high-frequency traders do not aim to establish and hold long-term positions. Rather, they enter into short-term positions and end the trading day “flat”, i.e. without carrying over significant positions to the next business day. Algorithmic trading strategies, on the other hand, typically aim at reducing the adverse market impact of large-sized, institutional orders (see [34]). for the classification of HFT strategies, the reader is advised to consult [35].

Both courteous and criticized, In 2014, for example, the New York Stock Exchange allowed its members to place an order, using the HFT, every 37 microseconds [36]. The same year, the THFs (specialized firms and THF banking activity) accounted for between 24% and 43% of volumes on European equities. They represented an even higher proportion of the number of orders, from 58% to 76%. Many of these orders are canceled: nearly one in two has a lifespan of less than 0.2 seconds [37].

The fact of using analysis of big data extracted from different information sources, HFTs predict price changes occurring a few seconds in the future [40]. however, the HTF is often criticized. In fact, in [34], authors warned against the allegedly harmful effects in in the event of adverse market conditions and claimed that regulators are currently putting strong emphasis on subjecting high-frequency trading to

prudential and organisational requirements and to supervision by a competent authority.

We think these criticisms are founded, since the use of HFT can lead to risks of large losses such as those of the "Flash Crash" (May 6, 2010). That day, the Dow Jones Industrial Average lost about 998.52 points before regaining 600 points, between 14h42 and 14h 52 at the New York Stock Exchange (NYSE). A decrease of 9.2% in the space of 10 minutes was unprecedented in history. This incident has revealed the involvement of high-frequency trading, which now accounts for two-thirds of NYSE stock market transactions [38]. Adding to this event, losses suffered by Knight Capital (KCG) in 2012. Indeed, this global financial services firm specialized in HFT has nearly blew up the market and the firm lost \$ 440 million in 45 minutes because of a computer bug. [39].

One can say that the fusion of big data technologies and finance has given birth to the HFT which is a very fast speculation method but must be used "sparingly".

III. SOME BIG DATA ANALYTICS TOOLS

Business intelligence and analytics and the related field of big data analytics have become increasingly important due to their power to bring about solution in various fields [27]. Finance with its various forms is not the exception, on the contrary, big data technologies, analytics and solutions seem to interest more and more finance practitioners.

In this section, we focus on the methods and processes dedicated to explore big data finance. Data which are used by financial institutions can be categorized into two different types. Structured data, which are easily identifiable and codified (price, date, temperature, stock information, etc.). These data can be analyzed qualitatively or quantitatively. With the advent of social media, Financial institutions have access to a large variety of new data. These new data are unstructured Arising from multiple origins. In most cases, this is textual data extracted from blogs, social media, E-mail, etc. sometimes this data are in form of videos, images, audio, etc. The processing and analysis of such data require, often, machine learning techniques.

The need to explore these data in finance is motivated by several reasons, we quote: uncovering of hidden patterns and unknown correlations, market trends, backtesting of financial models or the measurement of the risk of granting a credit via the scoring method. Therefore, this requires robust analytical techniques and statistical models that offer a high prediction quality.

A. Exploratory Data Analysis and predictive Statistic

Note that conventional statistical methods of data analysis such as principal component analysis, correspondence factor analysis and canonical-correlation analysis remain valid in the context of big data (see [16]). Furthermore, Given the large volume of data, parallelization of tasks is needed: Data is divided into nodes, each associated with a processor or computer connected to others through a broadband network into a cluster.

A recent snapshot on statistical analysis with big data that exceed the memory and computing capacity of a single computer is done in [18]. The presented methodologies were grouped into three classes: subsampling-based, divide and conquer, and online updating for stream data.

Note that methods of data mining and text mining are also unavoidable in the big data analysis (see [14] and [41]). Furthermore, the various types of regression and time series, including the autoregressive (AR) model, autoregressive conditional heteroscedasticity (ARCH) and generalized autoregressive conditional heteroscedasticity GARCH ones are very useful for building predictive models starting from big financial data (see [23] and [24] for financial volatility prediction in big data context).

In the context of the statistical study of data, the most important parameters to consider are n , the sample size (number of observations) and p , the number of observed variables on this sample. When particularly p is greater than n , the conventional statistical methods are vulnerable and the use of modern methods of statistical learning becomes a more efficient alternative [17].

Statistical learning is divided into two distinct categories:

- Supervised statistical learning has predictive purposes, it is related to regression cases or classification problem (Decision Tree, neural networks, logistic regression, PLS regression, Ridge, etc.).

Given a training set consisting of data observations of input-output type: $\mathcal{d}_1^n = \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$, with $x_i \in X$ (often \mathbb{R}^p), $y_i \in Y$ for $i = 1, \dots, n$.

The goal is to build, from the training sample, a model that will help predict the output y associated with a new input x (predictor variable).

- Unsupervised statistical learning: the aim in the unsupervised case is exploratory, usually used to group data into homogeneous classes but as dissimilar as possible. It is a clustering problem that uses the methods of hierarchical clustering, dynamic allocation algorithms (k-means) or self-organizing map (SOM), etc.

B. Sentiment analysis or opinion mining

In addition to statistical methods or analysis cited above, a majority of academic works has focused on analyzing the content of messages posted online, also called « sentiment analysis » or « opinion mining » [19]. Sentiment analysis comes refine predictive models based only on the volume of messages.

Sentiment analysis is based on machine learning algorithms. The authors of [20] developed a semantic analysis system and have successfully predicted the evolution of the Dow Jones Industrial Average with 4 days in advance in 86.7% of cases [21]. Observing this ability to anticipate accurately the evolution of stock prices, several investment funds were established. Derwent Absolute Return manages a fund of 40 million \$, based on the work of [20] but also on

messages exchanged on Facebook. MarketPsy capital was interested in the investors sentiment about approximately

6 000 companies and got a yield of 45% during 2008 [22].

As we have shown previously, works around this kind of analysis applied to the financial case are many. Overall, the sentiment analysis is based on the subjectivity of the content of text data collected as comments posted on social media, discussion blogs or economic news. Especially, Peter M. Clarkson et al. [8] stated that the returns and trading volumes are very sensitive to takeover rumors postings in the hotcopper internet discussion site.

According to Pang and Lee [19], sentiment analysis from texts, whether written or electronic, consists of several steps. In designing an autonomous system of automatic sentiment analysis, it is important that it is able to follow the different stages of the analysis independently. First, subjective texts must be distinguished from neutral texts or objectives. Then, the system must detect paragraphs or sentences with evaluative judgments. Finally, all information must be presented in a comprehensive analysis of the sentiments expressed in the text. Generally, there are two different methods to accomplish automated sentiment analysis. The first method is based on a lexicon built from existing dictionaries (lexicon-based approach). The second method is based on corpus containing evaluative texts whose language is generally subjective (corpus-based approach) (see [25]).

A supervised machine learning uses a trained label set to classify the sentiment on data. It involves the development of two corpora: a corpus learning and a test corpus. The method is called «supervised» because the automatic system is trained to handle a database based on a training corpus which contains models already treated. In contrast, unsupervised learning traditionally uses the lexicon based approach. These methods uses sentiment lexicon to identify entire document's sentiment polarity [15]. unsupervised method requires only a corpus. The method implies that the autonomous system must structure, itself, the information within the corpus by dividing them into groups. Thus, it must organizes the database of such so that the most similar data are combined in a group and data different in another.

- Support Vector Machine (SVM) is a classification and regression model used for data analysis. It constructs a set of hyper planes used for linear classification and regression. It uses kernel mapping for non linear classification which is used for erroneous classification. It produces more accurate results on both classification and regression than other machine learning techniques [15].
- Naïve Bayes classification method is simple method and comparatively produces good results with sensible accuracy. It uses a bag of words for classifying the subjectivity of the content. It is based on Naïve Bayes rule assuming conditional independence which is a main drawback of this classification [42].

IV. CONCLUSION

In this work, we highlighted the connection with finance, in general, and data deluge. This work does not purport to be exhaustive, but we made an overfly about a wide variety of techniques and possible uses. We also focused on the fact that predictive analysis with a good use of 4V's which characterize big data, applied to collected data can improve risk management models. Note that there is no standard methods of big data analytics. big data analytics are flexible and must be adapted to the considered problem and practitioners may adapt methods according to their need.

The advantage of integrating more of business intelligence techniques in financial management has become insistent and falls within consolidation of the competitiveness of financial institutions. Only the future and new innovations in terms of regulations and technological advances will lighten us more.

Until now, technological advances related to big data have not brought as solutions, but also many challenges as in the case of algorithmic trading. Certainly, this type of practice has limited human intervention in trading which is always biased by fatigue, inattention, nervousness, etc. However, the repetitive use of a strategy may make this strategy vulnerable as stated by Eugene Fama (1970) in his famous theory of market efficiency introduced in his article entitled "Efficient Capital Markets: a Review of Empirical and Theoretical Works".

References

- [1] F.X. Diebold, "A Personal Perspective on the Origin (s) and Development of 'Big Data': The Phenomenon, the Term, and the Discipline," Second Version, PIER Work. Paper No 13-003, 2012.
- [2] D. Laney. (2001, February 6). "3D Data management: Controlling data volume, velocity and variety," [Online]. Available: <https://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>.
- [3] R. Bar-Haim, E. Dinur, R. Feldman, M. Fresko, and G. Goldstein, "Identifying and following expert investors in stock microblogs," in *Proc. of Conf. on EMNLP*, Edinburgh, UK, 2011, pp. 1310-1319.
- [4] W. Antweiler and M. Z. Frank, "Is all that talk just noise? The information content of internet stock message boards," *The J. of Finance*, vol. 59, no 3, pp. 1259-1294, 2004.
- [5] E. Gilbert and K. Karahalios, "Widespread Worry and the Stock Market," in the 4th *ICWSM*, Washington, USA, 2010, pp. 59-65.
- [6] X. Zhang, H. Fuehres and P. A. Gloor, "Predicting stock market indicators through twitter "I hope it is not as bad as I fear"," *Procedia-Social and Behavioral Sci.*, vol. 26, pp. 55-62, 2011.
- [7] E. J. Ruiz, V. Hristidis, C. Castillo, A. Gionis and A. Jaimes, "Correlating financial time series with micro-blogging activity," in *Proc. of Int. conf. on WSDM*, Washington, USA, 2012, pp. 513-522.
- [8] P. Clarkson, D. Joyce and I. Tutticci, "Market reaction to takeover rumour in Internet Discussion Sites," *Accounting and Finance*, vol. 46, no. 1, pp. 31-52, 2006.
- [9] E. D. Brown, "Will twitter make you a better investor? a look at sentiment, user reputation and their effect on the stock market," in *Proc. of SAIS*, örebro, sweden, 2012, Paper 7.
- [10] T. Preis, H. S. Moat and H. E. Stanley, "Quantifying trading behavior in financial markets using Google Trends," *Scientific reports*, vol. 3, 2013.
- [11] D. Challet and Ayed. A. Bel Hadj. (2013, August 15). "Predicting financial markets with Google Trends and not so random keywords," [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1307.4643>.

- [12] Aite Group for Thomson Reuters. (2014). Big Data in Capital Markets: At the Start of the Journey [Online]. Available: http://share.thomsonreuters.com/general/PR/Big%20Data%20IB_White%20Paper_Aug2014.pdf.
- [13] M. Singh, "Big Data in Capital Markets," *Int. J. of Comput. Applicat.*, vol. 107, no. 5, pp. 42-45, 2014.
- [14] J. D. Thomas and K. Sycara, "Integrating genetic algorithms and text learning for financial prediction," in *Proc. of the Genetic and Evolutionary Computing 2000 Conf. Workshop on Data Mining with Evolutionary Algorithms*, Las Vegas, Nevada, USA, 2000, pp. 72–75.
- [15] S. Kavitha, R. Vadhana and A. N. Nivi, "Big Data Analytics In Financial Market," *Int. J. of Research in Eng. and Technology*, Vol. 04, Issue: 02, 2015.
- [16] L. Lebart, M. Piron and A. Morineau, "Statistiques Exploratoires Multidimensionnelles," 3rd Ed. Paris: Dunod, 2000.
- [17] T. Hastie, R. Tibshirani and J. Friedman, "The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction," *The Math. Intelligencer*, vol. 27, no. 2, pp. 83-85, 2005.
- [18] C. Wang, Ming-Hui Chen, E. Schifano, J. Wu and J. Yan. (2015, October 29). "Statistical Methods and Computing for Big Data," [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1502.07989>.
- [19] B. Pang and L. Lee, "Opinion mining and sentiment analysis," *Found. and Trends in Inform. Retrieval*, vol. 2, No. 1-2, pp. 1-135, 2008.
- [20] J. Bollen, A. Pepe, H. Mao, "Modeling public mood and emotion: Twitter sentiment and socioeconomic phenomena," in *the 5th ICWSM*, Barcelona, Catalonia, Spain, 2011, pp. 450-453.
- [21] J. Bollen, H. Mao and Xiao-Jun Zeng, "Twitter mood predicts the stock market," *J. of Computational Sci.*, vol. 2, no 1, pp. 1-8, 2011.
- [22] T. Warin *et al.*, "Un état des lieux sur les données massives," Cirano., Montréal, Québec (Canada), Rep. *RB-01*, 2014.
- [23] D. D. Wu, L. Zheng and David. L. Olson, "A Decision Support Approach for Online Stock Forum Sentiment Analysis", *IEEE Trans. on Syst., Man, And Cybernetics: Syst.*, Vol. 44, No. 8, August 2014.
- [24] F. Perez-Cruz, J. A Afonso Rodriguez and J. Giner, "Estimating GARCH models using Support Vector Machines," *Quantitative Finance*, Vol. 3, no. 3, pp. 163-172, 2003.
- [25] N. Godbole, M. Srinivasaiah, S. Skiena, "Large-Scale Sentiment Analysis for News and Blogs," in *ICWSM'2007*, Boulder, Colorado, USA, 2007, vol. 7, no. 21, pp. 219-222.
- [26] H. Mao, S. Counts and J. Bollen. (2001, December 5). "Predicting Financial Markets: Comparing Survey, News, Twitter and Search Engine Data," [Online], Available: <http://arxiv.org/abs/1112.1051>.
- [27] H. Chen, Roger H. L. Chiang and Veda C. Storey, "Business Intelligence And Analytics: From Big Data To Big Impact," *MIS Quarterly*, vol. 36, no. 4, pp. 1165-1188, 2012.
- [28] D. Allemang and J. Hendler, "Semantic web for the working ontologist: effective modeling in RDFS and OWL", Morgan Kaufmann, 2008.
- [29] C. Bach. (2014, April 7). Le Big Data au service de l'Industrie Bancaire. [Online]. Available: <http://www.louisbachelier.org/dossiers/le-big-data-au-service-de-lindustrie-bancaire/>
- [30] G. Bory, (2013, February 15). CVA – A Big Data Problem. [Online]. Available: <http://risktech-forum.com/opinion/cva-a-big-data-problem>.
- [31] D. D. Lambrigger, P.V. Shevchenko and M. V. Wuthrich, "The quantification of operational risk using internal data, relevant external data and expert opinion,". *The J. of Operational Risk*, vol. 2, no. 3, pp. 3-27, 2007.
- [32] J. Chen *et al.*, "Big data based fraud risk management at Alibaba," *The J. of Finance and Data Sci.*, vol. 1, no 1, pp. 1-10, 2015.
- [33] P. Aula and J. Heinonen, "Risk of Risks," in *The Reputable Firm*, Switzerland: Springer Int. Publishing, 2016, ch. 7, pp. 133-162.
- [34] M. Chlistalla *et al.*, "High-frequency trading: better than its reputation?," Research briefing, Deutsche Bank Research, Frankfurt, Germany, Rep.7, 2011.
- [35] R. K. Narang, "High-Frequency Trading," in *Inside the Black Box: A Simple Guide to Quantitative and High Frequency Trading*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., 2013, ch. 15, pp. 265-277.
- [36] A. Rezaee. (2014, April 18). Le Trading Haute Fréquence, une méthode de spéculation ultra rapide... et ultra dangereuse. [Online]. Available: <http://leplus.nouvelobs.com/contribution/1191975-le-trading-haute-frequence-une-methode-de-speculation-ultra-rapide-et-ultra-dangereuse.html>.
- [37] N. A.-K. (2014, December 22). Europe : le trading haute fréquence en chiffres. [Online]. Available: http://www.lesechos.fr/22/12/2014/LesEchos/21840-097-ECH_europe--le-trading-haute-frequence-en-chiffres.htm#.
- [38] M. Solovyeva. (2011, May 7). Retour sur le flash krach du 6 mai 2010. [Online]. Available: <http://www.challenges.fr/finance-et-marche/20110503.CHA4871/retour-sur-le-flash-krach-du-6-mai-2010.html>.
- [39] S. Gandel. (2012, August 2). Why Knight lost \$440 million in 45 minutes. [Online]. Available: <http://fortune.com/2012/08/02/why-knight-lost-440-million-in-45-minutes/>
- [40] J. Brogaard, T. Hendershott and R. Riordan, "High-frequency trading and price discovery," *Review of Financial Stud.*, vol. 27, no. 8, pp. 2267-2306, 2014.
- [41] X. WU, X. ZHU, G. WU, W. Ding, "Data mining with big data," *IEEE Trans. on Knowledge and Data Eng.*, vol. 26, no. 1, p. 97-107, 2014.
- [42] P. Gamallo, M. Garcia, "Citius: A Naive-Bayes Strategy for Sentiment Analysis on English Tweets," in *Proc. of the 8th Int. Workshop SemEval'2014*, Dublin, Ireland, 2014, pp. 171–175.

New methodology: combining multiobjective algorithm and multicriteria decision to resolve complex problems

La prédiction du taux d'erreur dans les logiciels orientés- objet

Loubna LAMRINI
Faculté des Sciences et Techniques de FES
FES, MAROC
loubna.lamrini@usmba.ac.ma

Fatima-zahra ELMAZOURI
Faculté des Sciences et Techniques de FES
FES, MAROC
elmazouri.2012@gmail.Com

Résumé La construction de modèles prédictifs d'un logiciel, bien avant sa mise en œuvre, est maintenant une pratique largement menée dans l'industrie du logiciel. Il est bien connu que la production d'un système de qualité nécessite un grand soin dans les premières phases du développement. Nous nous intéressons, dans cette étude, à la phase de conception qui se caractérise par la construction d'un élément crucial pour la description du système, qui est le diagramme de classes, donc la qualité du diagramme de classe a un impact important sur la qualité du logiciel qui sera implémenté après.

L'objectif de notre étude est de sélectionner un ensemble de métriques qui peuvent être extraites à partir d'un diagramme de classe dans le but d'appliquer des modèles de prédiction de défauts lors de l'étape initiale d'un développement orienté-objet. Nous avons utilisé la base de données logicielle PROMISE (PRedictor Models In Software Engineering), qui est un référentiel international dans le génie logiciel. Cette base de données offre une collection de données accessibles au public, à servir les chercheurs dans la construction de modèles prédictifs de logiciels et la communauté de génie logiciel au sens large.

nous avons utilisé trois méthodes du DataMining à savoir les arbres de décision, les machine à vecteurs de support (SVM) et les réseaux bayésiens.

MOTS-CLES: Métrique orienté-objet, qualité logiciel, diagramme de classe, modèles de prédiction de défauts.

I. INTRODUCTION

Il est bien reconnu que la correction des erreurs des applications informatiques est le problème le plus important dans l'industrie de logiciel, comprise entre 60 et 90 pour cent des coûts du cycle de vie [1] [2] le coût de correction d'une erreur au début du projet est beaucoup plus inférieur que lorsqu'on s'approche de la fin du cycle de développement. Pour cette raison, nous avons mis l'accent sur la qualité diagramme de classe, modèle obtenu dès le début d'un projet.

les logiciels actuels sont de plus en plus complexes. le contrôle de leur qualité doit reposer sur des concepts solides [3]. La métrologie, comme dans tous les domaines, reste le moyen le plus objectif et le plus fiable. Le domaine des métriques, en particulier orientées objet, a fait l'objet d'une multitude de travaux. Plusieurs de ces métriques ont été expérimentées dans

la littérature. Néanmoins, certaines d'entre elles étaient définies mais n'ont pas fait l'objet de grande exploitation et validations. L'idée de sélectionner des métriques pertinentes pour prédire les défauts est la principale motivation de ce travail. Vu que le nombre des métriques proposées dans le cas des systèmes orientés objets, est très important, plusieurs problèmes sont soulevés, en particulier, la nature et la quantité d'information qu'elles fournissent et l'unification des métriques avec leurs proches.

II. Etat de l'art sur la métrologie des logiciels orientées objet

depuis le début des années 90, plusieurs métriques ont été proposées. L'une des premières propositions concrètes fut la suite de métriques orientés-objet proposée par Chidamber et Kemerer [4]. Cette proposition est en effet systématiquement citée dans les bibliographies de la grande majorité des travaux importants dans le domaine des métriques orientées-objet. Les travaux récents les citent également [5].

Nous présentons, dans ce qui suit, quelques métriques telles que leurs auteurs les ont proposées.

1. Les métriques proposées par Chidamber et Kemerer

Ces métriques visent, essentiellement, à mesurer la complexité de la conception des classes dans un système orienté objet.

1.1 Weighted Methods Per Class (WMPC)

C'est le nombre de méthodes définies dans une classe. WMPC est un reflet de la complexité. Le nombre de méthodes et leur complexité permettent de prévoir le temps et l'effort requis pour développer et maintenir la classe. La complexité cyclomatique est liée au taux de fautes. Un WMPC élevé est synonyme d'un risque élevé de fautes dans la classe [6].

1.2 Depth OfInheritance tree (DOIH)

C'est le nombre maximum de classes ancêtres de la classe pour atteindre une racine. DIT est un reflet de la complexité via la portée des ancêtres. Le comportement de la classe est plus difficile à prédire quand le nombre de méthodes héritées croît. Plus une classe est loin dans la hiérarchie, moins elle est

générique. Elle peut renseigner un degré de spécialisation important qui fait que la classe s'éloigne de l'abstraction initiale. Le mécanisme d'héritage introduit par la technologie objet permet de garantir une meilleure réutilisation, structuration et encapsulation du code. Cependant, l'héritage doit être utilisé de manière minimale et suffisante. Car, d'une part, l'absence d'héritage est souvent synonyme de manque de réutilisation de code et, d'autre part, des arbres d'héritage très profonds sont des sources d'erreur.

1.3 Number Of Children (NOC)

NOC est le nombre de classes immédiatement dérivées d'une classe. Une classe ayant de nombreuses classes dérivées a un impact fort sur la hiérarchie de classes. Une attention particulière devra lui être accordée

1.4 Coupling Between Object classes (CBO)

CBO est le nombre de couplages (degré de dépendances) entre une classe et toutes les autres classes du système. Des études [7] ont montré qu'un couplage excessif entre les classes nuit à la modularité et diminue la réutilisation. Plus une classe est indépendante, plus il est facile de la réutiliser dans un autre module. De même, Plus le couplage de classes inter-objets est important, plus les tests doivent être rigoureux.

1.5 Response For a Class (RFC)

RFC est le nombre de méthodes (de la classe et d'autres classes) appelées par une classe en réponse à un message. Plus une classe invoque des méthodes de diverses origines, plus elle est compliquée à comprendre. Une classe qui a un RFC grand nécessite plus de rigueur.

1.6 Lack of COhesion in Methods (LCOM)

LCOM est le nombre de méthodes prises deux à deux (paires de méthodes) ne partageant pas des instances de variables de la classe. Moins le nombre de paires de méthodes partageants des instances de variables de la classe, moins la classe est cohésive. Une classe est cohésive si ses méthodes agissent sur le même ensemble de données. Les méthodes sont donc reliées entre elles. Elle renseigne la qualité de la structure de la classe. Cette métrique évalue l'encapsulation. Une classe peu cohésive doit être éclatée en plusieurs autres classes plus cohésives.

2. Critique des métriques proposées par Chidamber et Kemerer

Les métriques Chidamber et Kemerer ont été validées empiriquement par leurs auteurs, ils ont été également validés par plusieurs auteurs après leur publication. Une des premières études conduites dans ce sens a été réalisée par Basili et al. [8]. Par ailleurs, Churcher et al. [9] expriment des réserves sur ces métriques. Tant d'un point de vue historique (travaux

d'Halstead) que d'un point de vue scientifique. Ceci concerne notamment le défaut de méthodologie précise de mesure. Par exemple, suivant le mode de comptage employé, une classe C++ peut voir la métrique WMC varier de 12 à 37.

Hitz et al. [10] quant à eux montrent les limites de la formulation des métriques CBO et LCOM. Cette dernière n'étant valide à leurs yeux qu'avec le mode de calcul proposé par W.Li et al [11]. Sinon, il faudrait expliquer des situations très paradoxales. Notamment celle résultant de l'ajout d'une méthode sur des jeux déjà constitués de méthodes partageant des attributs de la classe. Il peut se produire alors soit une augmentation de la cohésion de la classe, soit une diminution de la cohésion de la classe, soit, ne pas changer la cohésion de la classe.

L'utilisabilité de ces métriques en phase de conception, c'est-à-dire avant le codage est difficile. En effet, la mesure des métriques CBO, RFC et LCOM implique que toutes les classes du système soient déjà implémentées. Ceci limite sévèrement leur emploi aux seules phases finales du cycle de vie du logiciel.

Plusieurs particularités fondamentales de la conception des systèmes orientés objet ne sont pas ou peut être capturées comme l'abstraction, l'encapsulation.

3. Les métriques proposées par Li et Henry

Li et Henry ont proposé 5 métriques qui permettent de mesurer des attributs internes tels que le couplage, la complexité et la taille. Parmi ces métriques nous pouvons sélectionner trois métriques qui peuvent être mesurées à partir du diagramme de classe.

3.1 Data Abstraction Coupling (DAC)

DAC est le nombre de types de données abstraites définies dans une classe (classes dont la définition est incluse dans la définition d'une autre classe). Le DAC évalue le couplage "interne" d'une classe avec d'autres classes.

3.2 Number Of local Methods (NOM)

C'est le nombre de méthodes localement définies dans une classe (hors méthodes héritées). Cette métrique évalue les propriétés opérationnelles d'une classe (interface). Plus le NOM est élevé, plus une classe est complexe. Si une classe a beaucoup d'opérations, elle est difficilement réutilisable et perd souvent de sa cohésion. Il peut être judicieux de la diviser en sous-classes.

3.3 SIZE1

C'est le nombre d'instructions dans l'implémentation d'une classe. Ce nombre est directement dérivé de la métrique traditionnelle Lines Of Code (LOC).

3.4 SIZE2

C'est le cumul du nombre d'attributs et du nombre de méthodes locales d'une classe. De même, ce nombre est indirectement dérivé de la métrique LOC qui évalue la complexité d'une classe.

4. Critique des métriques proposées par Li et Henry

L'utilisabilité des métriques proposées par Li et Henry en phase de conception demeure problématique. Il est difficile d'estimer le nombre d'instructions dans l'implémentation d'une classe. Cet état de fait les rend indisponibles en dehors de tout codage.

5. Les métriques proposées par Abreu, GouUio et Esteves (MOOD)

Le projet MOOD (Metrics for Object Oriented Design) [12] consiste en une proposition de 6 métriques dont les principales caractéristiques sont:

- ✓ Une forte corrélation avec les concepts objet,
- ✓ Une évaluation d'un système dans sa globalité,
- ✓ Une évaluation possible en dehors de toute implémentation pour une utilisation dans le début du cycle de vie,
- ✓ Une expression en pourcentage, éliminant les questions de signification quant à la valeur d'une métrique.

Ces métriques reposent sur le principe suivant :

Métrique = Nombre d'occurrences dans le système/ Nombre maximal d'occurrences dans le système.

Elle s'appuie sur l'hypothèse que la mesure de fréquence d'emploi de certains facteurs de construction orientée objet reflète la qualité de la conception. Ces métriques ont été jaugées sur des réalisations commerciales prises comme étalons d'une bonne conception orientée objet. Il en résulte des recommandations quant aux fourchettes dans lesquelles doivent se trouver chacune de ces métriques.

5.1 Method Hiding Factor (MHF)

C'est le pourcentage de méthodes cachées. le MHF évalue l'encapsulation. La fourchette préconisée est [10%,30%].

5.2 Attribute Hiding Factor (AHF)

C'est le pourcentage d'attributs cachés. l'AHF évalue l'encapsulation. La fourchette préconisée est [70%, 100%].

5.3 Method Inheritance Factor (MIF)

C'est le pourcentage de méthodes héritées. le MIF évalue l'abstraction et la fonctionnalité. La Fourchette préconisée est [65%, 80%].

5.4 Attribute Inheritance Factor (AIF)

C'est le pourcentage d'attributs hérités. L'AIF évalue l'abstraction. La fourchette préconisée est [50%,60%].

5.5 Polymorphie Factor (PF)

C'est le pourcentage de méthodes polymorphes par rapport au nombre total de méthodes potentiellement polymorphes. Le PF évalue la flexibilité. La fourchette préconisée est [3,5%, 10%].

5.6 Coupling Factor (COF)

C'est le pourcentage de classes couplées aux autres classes autrement que par l'héritage. Le COF évalue l'interdépendance. La fourchette préconisée est [4%, 20%].

6. Critique des métriques MOOD

Contrairement aux métriques précédentes, les métriques MOOD présentent des points positifs notables :

- ✓ Elles sont indépendantes du langage de mise en œuvre,
- ✓ Elles sont basées sur les fondements du paradigme orienté objet,
- ✓ Elles s'expriment en pourcentage donc dans une unité largement connue,
- ✓ Elles présentent un caractère opérationnel puisque des plages de variations sont préconisées,
- ✓ Elles peuvent être calculées en dehors de toute implémentation, donc dès les premières phases du cycle de vie du logiciel.

Ces métriques n'ont été testées que par un groupe d'étudiants [12]. Cette validation a montré le caractère prédictif sur la fiabilité et la maintenabilité des métriques MHF, AIF, MIF, POF et COF. Elle montre également de manière surprenante que l'AHF est peu significative.

Un autre groupe de métriques a été également proposé, à cette période, par Badri et al. [13]. Ces métriques présentaient l'avantage d'être applicables dès les premières phases du processus de développement. Elles ont été évaluées théoriquement et n'ont pas fait l'objet d'expérimentation de grande envergure. La métrique de cohésion proposée dans [13] a été cependant reprise et expérimentée . Les études empiriques effectuées [14] ont largement démontré que l'approche de cohésion OO proposée par Badri et al. permettait de capturer plus de paires de méthodes reliées que les métriques de cohésion proposées dans la littérature. Ces études ont permis d'étendre les critères de cohésion OO. Une étude récente a permis de démontrer la forte corrélation qui existe entre la cohésion, telle que définie par Badri et al., et le couplage [15].

7. Dépendance entre métriques

Un des problèmes des métriques, discutés par plusieurs chercheurs, est lié au fait qu'elles ne sont pas linéairement indépendantes. Dans ce cadre, Aggarwal et al [16] ont tenté d'étudier les métriques OO afin d'isoler un groupe de métriques plus restreint capable de remplacer l'ensemble des métriques existantes. En appliquant une analyse par composante sur le jeu de mesures obtenues sur trois logiciels différents, ils ont réussi à isoler un certain nombre de métriques qui capturent la majorité de l'information contenue dans leur ensemble de mesures.

Ils ont, par ailleurs, réussi à donner un sens aux 3 premières composantes de l'ACP, en remarquant que la première colonne identifiait les métriques de taille, la deuxième était reliée à la cohésion, et la quatrième à l'héritage. Les autres composantes étant plus difficiles à interpréter. Malheureusement, dans leur étude, l'analyse n'a été effectuée que sur des logiciels de petite taille.

II MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTAT

L'objectif de cette étude est l'exploitation des métriques OO pour la prédiction des défauts. Cette section décrit le processus de la collecte des données et les techniques utilisées pour les analyser.

1. La collecte des données

Les données utilisées sont collectées à partir de la base de données PROMISE (PREDictOr Models In Software Engineering) mise en ligne par la NASA [17]. PROMISE est un référentiel dans le génie logiciel. Elle collecte des ensembles de données sur des projets logiciels sous forme de plusieurs bases de données. Chaque base de données est représentée sous forme de fichier CSV contenant le nom du projet, sa version, les métriques utilisées et un attribut pour le nombre des défauts détectés.

Notre choix de données s'est tourné vers les métriques OO qui peuvent être extraites durant les premières phases du cycle de vie d'un logiciel. Nous avons opté pour les métriques décrites dans le tableau 1.

Tableau 1. Les métriques sélectionnées dans l'étude

Métrique	Description
WMC (Weighted methods per class)	Le nombre des méthodes par classe ou simplement la somme de la complexité de ses méthodes.
DIT (Depth of Inheritance Tree)	la profondeur d'héritage
NOC (Number of Children)	Le nombre d'enfants des classes
NPM (Number of Public Methods)	La métrique NPM compte toutes les méthodes dans une classe qui sont déclarées comme publiques. Elle peut être utilisée pour mesurer la taille d'une API fournies par un paquet.
DAM (Data Access Metric)	Cette métrique est le rapport du nombre d'attributs privés (protégés) au nombre total d'attributs déclarés dans la classe.
MOA (Measure of Aggregation)	Le nombre de déclarations de données (champs de classe), dont les types sont des classes définies par l'utilisateur
MFA (Measure of Functional Abstraction)	Cette métrique est le rapport du nombre de méthodes héritées par une classe et le nombre total de méthodes accessibles par des méthodes de membres de la classe.
CAMC (Cohesion Among Methods of Class)	Calcule le degré de parenté entre les méthodes d'une classe sur la base de la liste des paramètres des méthodes.

Ci-dessous un extrait de données utilisées.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	name,version,name,wmc,dit,noc,npm,dam,moa,mfa,cam,bug							
2	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ClassMap,3,1,0,2,1,0,0,0.555555556,0							
3	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ClassMetricsContainer,3,1,0,2,1,0,0,0.555555556,0							
4	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ClassMetrics,23,1,0,22,1,0,0,0.405797101,8							
5	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ClassVisitor,13,2,0,9,0.875,2,0.727272727,0.240384615,6							
6	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ant.PrintXmlResults,4,1,0,4,1,0,0,0.4375,4							
7	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.PrintPlainResults,2,1,0,2,1,0,0,0.625,0							
8	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.MethodVisitor,11,2,0,8,1,2,0.947368421,0.173553719,0							
9	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.ant.CkjmTask,5,4,0,5,1,0,0.951219512,0.533333333,2							
10	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.CkjmOutputHandler,1,1,0,1,0,0,0,1,0							
11	ckjm,1.8,gr.spinellis.ckjm.MetricsFilter,7,1,0,5,1,0,0,0,2,3							

2. MODÈLES D'EXPLORATION DE DONNÉES

Nous avons utilisé trois modèles pour la prédiction de défaut. nous avons utilisé les naïfs de Bayes, les Machines à vecteurs de support (SVM) et les arbres de décision. Ils sont choisis en raison de leurs capacités de classification. Les données d'entrée sont divisées au hasard en deux ensembles, un ensemble d'apprentissage et un ensemble de tests. L'ensemble d'apprentissage est utilisé pour créer le modèle d'exploration. L'ensemble de test est utilisé pour vérifier la précision du modèle.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'étude de la précision des différentes méthodes appliquées est une tâche importante pour évaluer l'exactitude des résultats obtenus. Le tableau 2 donne la précision de chaque méthode par rapport à la valeur réelle.

Tableau 2. Résultat de convergence de chaque méthode

Valeur réelle	Arbre de décision	Réseau bayes	SVM
1	1	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1
1	2	2	1
1	1	0	1
1	1	1	1
2	1	2	1
2	2	2	1
3	1	4	1
2	1	3	1
Precision	0.911	0.718	0.992

La précision donnée par chaque méthode montre que les arbres de décision et les SVM ont une grande efficacité au niveau de la prédiction. Les résultats obtenus montrent clairement que la métrologie en génie logiciel est un axe de recherche très prometteur, du fait que les métriques utilisées dans cette étude ont permis une estimation très proche de la valeur réelle.

nous avons noté que plus la DIT et la NOC ont de grandes valeurs, plus la probabilité de détection de défaut est importante.

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La motivation principale de ce travail de recherche consiste à prédire, dans les phases amonts de la conception, le taux des défauts dans les logiciels orientés objets. Ce qui permettra d'éviter les échecs lors de l'exécution du logiciel et d'éliminer les raisons principales des bugs.

Les métriques sélectionnées peuvent aussi servir à prédire des indicateurs de qualité afin d'identifier une démarche d'assurance qualité dès le début du cycle de vie. Elles peuvent aussi représenter un support très puissant pour la prédiction de l'effort de développement et la priorité des tests. Ces études feront l'objet de travaux futurs.

L'analyse des métriques orientées objets sélectionnées, sur plusieurs projets logiciels, nous a permis de démontrer leur efficacité à prédire les défauts. La forte convergence des différentes techniques appliquées démontrent que ces métriques constituent des indicateurs très solides de la qualité. Les résultats obtenus sont très positifs à plusieurs niveaux. Ils permettent également d'envisager plusieurs pistes de recherche dans le cadre de travaux futurs.

Références

- [1] CARD D., GLASS R., "Measuring Software Design Quality", Englewood Cliffs, USA, 1990.
- [2] PIGOSKI T., Practical Software Maintenance, Wiley Computer Publishing, New York, USA, 1997.
- [3] Hall T, Beecham S, Bowes D, Gray D, Counsell S. A systematic literature review on fault prediction performance in software engineering. Software Engineering, IEEE Transactions on 2012;38(6):1276-304.
- [4] S.R. Chidamber, C.F. Kemerer. "A metrics Suite for Object Oriented Design". IEEE Transactions on Software Engineering, Vol.20, No.6, June 1994.
- [5] K.K. Aggarwal, S. y ogesh, K Arvinder, M. Ruchika "Empirical study of Object-Oriented Metrics" Journal of Object Technologie vol 5 No 8 Nov/Dec 2006.
- [6] V.R. Basili, L.C. Briand, and W.L. Melo, "A Validation of Object-Oriented Design Metrics as Quality Indicators," IEEE Transactions on Software Engineering. vol. 22, no. 10, pp. 751-761, Oct. 1996.
- [7] L.C. Briand, J. Wüst, and H. Lounis. "Using Coupling Measurement for Impact Analysis in Object-Oriented Systems", in the Proceedings of IEEE, International Conference Software Maintenance (ICSM), pp. 475-482, Oxford, England, Aug./Sept. 1999.
- [8] V.R. Basili, L.C. Briand, and W.L. Melo, "A Validation of Object-Oriented Design Metrics as Quality Indicators," IEEE Transactions on

Software Engineering. vol. 22, no. 10, pp. 751-761, Oct. 1996.

- [9] N.r. Churcher and M.J. Shepperd, "Comments on "A Metrics Suite for Object-Oriented Design", IEEE Trans. Software Engineering, vol. 21, no.3 pp. 263-265, Mar. 1995.
- [10] M. Hitz and B. Montazeri, "Measuring Coupling and Cohesion In Object-Oriented Systems", Symp. Applied Corporate Computing (ISACC '95), Monterrey, Mexico, Oct.25-27, 1995.
- [11] W. Li & S Henry, "Maintenance Metrics for Object-Oriented Paradigm", in Proceedings of the First International Software Metrics Symp., pp. 52-60, May 1993.
- [12] F. B.; Melo, W. L. "Evaluating the Impact' of ObjectOriented Design on Software Quality", in the Proceedings of 3rd International Software Metrics Symposium (Metrics'96), Berlin, Germany, March 96.
- [13] L. Badri, M. Badri et S. Ferdenache: "Towards Quality Control Metrics for Object-Oriented Systems Analysis", in the Proceedings of TOOLS Europe'95 (Technology of ObjectOriented Languages and Systems), Versailles, France, Editions Prentice-Hall International, Mars 1995.
- [14] L. Badri & M. Badri: "A Proposal of a New Class Cohesion Criterion: An Empirical Study", in Journal of Object Technology (JOT), vol. 3, no. 4, pp. 145-159, Special issue (best papers) of TOOLS USA 2003, April 2004.
- [15] L. Badri, M. Badri & Alioune Gueye: "Revisiting Class Cohesion: An empirical investigation on several systems", in Journal of Object Technology (JOT), Juillet - Août 2008, à paraître.
- [16] K.K. Aggarwal, S. y ogesh, K Arvinder, M. Ruchika "Empirical study of Object-Oriented Metrics" Journal of Object Technologie vol 5 No 8 Nov/Dec 2006.
- [17] PROMISE Software Engineering Repository Public Datasets. <<http://promise.site.uottawa.ca/SERpository/datasets-page.html>>.

Session 5

Architecture Pilotée par la Modélisation

Comparative Study - Software Measurement Meta-models

Firdaousse FATTAL

Faculty of sciences Ben M'Sik,
University Hassan II Casablanca, Morocco
firdaousse.fattal@gmail.com

Abdelaziz MARZAK

Faculty of sciences Ben M'Sik,
University Hassan II Casablanca, Morocco
marzak@hotmail.com

Abstract—The whole world runs on technology, business depends on it, software systems are useful in many ways and in various areas, there bugs became costly, the reason that many software quality using software quality assurance processes (software development process, software lifecycle), models (ISO 9126, SQUALE) and approaches (CMMI, COBIT) are revealed, oriented towards 'prevention', 'agile software development' and 'metamodeling'. Measurements in Model Driven Architecture (MDA) are used to control, monitor and evaluate systems employing metrics. The aim of this article is to propose an analytic result of comparative study of software quality measurements using the concepts of MDA.

Keywords— software quality measurement, software metrics, metrics meta-model, MDA Approach.

I. INTRODUCTION

The progress of technologies and IT platforms displays challenges and complexity of interoperability information systems. Published software quality models give different views of quality requirements by many approaches, methods and standards also the software measures play an important role in the software development, they supply a visibility of the software process and the quality of artifacts, metrics are used to control, monitor and evaluate systems. To satisfy needs, reduce costs and resources, the Object Management Group 'OMG' proposed modeling concepts regarding architectural requirements, security and quality systems. This paper is organized as follows: section 2: the concepts of measurement of quality models in the MDA approach. Section 3: analysis study of existing measurement meta-models. Section 4 describes our comparative study. Finally, we will conclude with perspectives.

II. SOFTWARE QUALITY MEASUREMENT

A. Software metrics

The software measure has an important role for the improvement of the process of software development; they give a visibility onto the process, the product, the methods and the technologies employees in the software development [1]. They help to have knowledge as the efficiency state of development tools, the project quality and the productivity of

the team. We can't control what we can't measure, software quality measurement is divided into two methods of measurement (Quantitative and Qualitative). Metrics used to supply measure entities of the system and indicate a method or a formula of calculates that can be automated; they also have types and classifications to interpret data from attributes.

B. Metamodeling concept

The Meta-Object Facilities (MOF) [2] defines the meta-model as a structure that must have a model [3]. It provides the definition of entities of a model as well as the properties of their connections and consistency rules. The MOF represents a meta-model in form of UML class diagram. The model should be consistent with its meta-model, so it is an instantiation of the meta-model that it uses. Employing the metamodeling concept, first involves abstraction views of software measurement into appropriate software metrics (these are defined by the meta-model M2 of MOF's concept). The software metrics meta-model adopts various measurement definitions to constrain how models are built. Metrics meta-model consisting of class, associations and generalizations. In fact, the visual representation chosen for many object-oriented modeling environments, and of metamodeling languages, is most commonly the UML class diagrams.

The MDA approach is based on four layers of abstraction (M0 to M3) [8]:

- M3 Meta-meta-model: Standard for metamodeling architecture, specifying the meta-models and self-descriptive
- M2 Meta-model: Instance of a meta-meta-model, characterizing models
- M1 Model: Instance of meta-model, describing specific information domain
- M0 Data model: Instance of a model, containing data application

The example illustrated in the next figure is projected on software metrics:

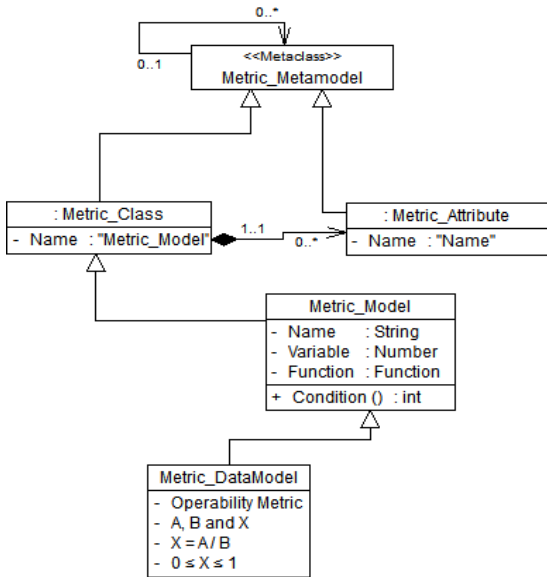


Fig 1. The four layers of the MOF projected on software Metrics

II. SOFTWARE METRICS META-MODEL

A. Software quality models

The software quality models (SQM) consist of a number of rules and principles, distributed in various categories, the most known are the hierarchical models (ISO/IEC 9126 2005, SQUALE 2009, Quamoco 2014 [11,4]) that classify the quality models from the global requirements and the most general functionalities, to the metrics that allow to measure them. Software quality models indicate a set of views of users of a system, who are decomposed into several factors or system characteristics, a factor, is a functional, technical or ergonomic element, which is defined by metrics. This last called control, used to supply a measure entities of the system and indicates a method or a formula of calculates that can be automated. Presented comparative SQM studies are numerous [4][5][6][7], the diversity of the methods, the work processes and the interpretations of each model, give more choice and increase competitions, nevertheless, the most argued choice and the generic model covering the majority of quality factors are the appreciated choice to the world. To apply this concept and measuring the quality of systems, the Object Management Group was first proposed Structured Metrics Meta-model (SMM) for the quality model measurement, since 2012 to October 2015, its latest version 1.1 [15]. In 2014 the Quamoco project developed and defined a structure that a quality Quamoco model needs to conform to, which is called the Quamoco meta-model.

B. Structured Metrics Meta-model SMM

The SMM of OMG includes elements representing the concepts needed to express a wide range of diversified measures. The specification does include a minimal library of software measures, but it is not asserting that the listed measures constitute standards themselves; these are supplied simply as non-normative examples. The SMM is a

specification for the definition of measures and the representation of their measurement results. The measure definitions make up the library of measures and that serves to establish the specification upon which all of the measurements will be based. The SMM specifies the representation of measures without detailing the representation of the entities measured. It anticipates that those entities are represented in other OMG meta-models. The main goals for the SMM are to provide an extendable meta-model establishing a standard for the interchange of measure libraries and structured model related measurements over the entities modeled by OMG meta-models. By structured model, we mean measurements derived from the structure model artifacts (that is those artifact that are modeled according to the MOF meta-model approach). SMM contains meta-model class and associations to model measurements, measures and observations.

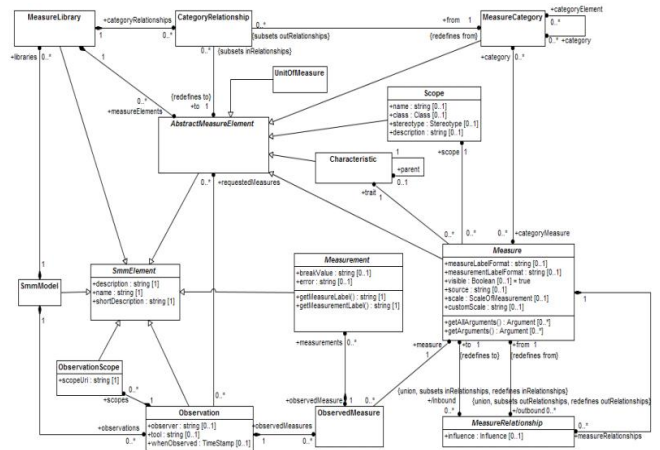


Fig 2. The core class of SMM [14]

The MeasureLibrary Class represents libraries of measures, which have categories (MeasureCategory Class), a category has measures and other categories as its elements. A Measure Class is a method assigning comparable numerical or symbolic values (Measurement Class) in order to characterize an attribute of the entities (Characteristic Class). There is a Unit quantity of Measure in terms of which the magnitudes of other quantities within the same total order can be stated (called Dimension). Observations Class represents the evaluation processes that assign Measurement Class in order to characterize selected qualities or traits of the entities. Each measure has a scope (Scope Class), the set of entities to which it is applicable; a range, the set of possible measurement results; and the measurable property or trait which the measure characterizes. The abstract parent class for all measure entities is the AbstractMeasureElement Class.

C. Quamocco meta-model

The Quamoco base model is a comprehensive selection of factors and measures relevant for software quality assessment. In total, it comprises 112 entities and 286 factors. Since some factors are used for structuring purposes rather than quality assessment, only 221 factors have evaluations assigned. Of these, 202 factors define impacts on other factors, leading to a

total of 492 impacts. Since the model provides different programming languages [12].

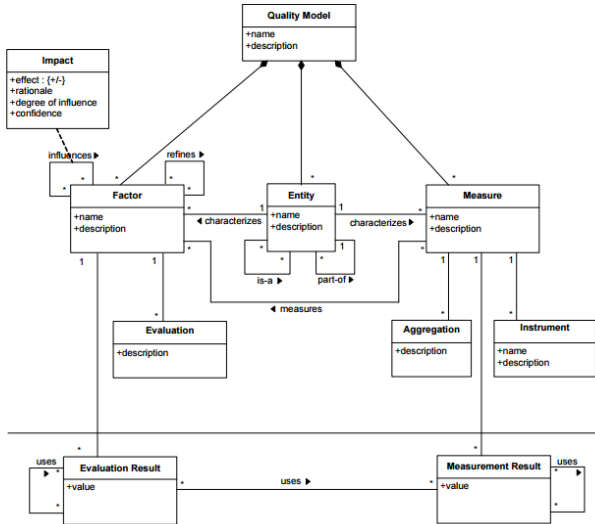


Fig 3. Quamoco meta-model [13]

Entities are used to model the parts that a software product and its environment consist of. The Measure in Quamoco meta-model defines how a specific entity is measured and therefore it provides a means to quantify factors that characterize this entity (or a related one). The measurement can be done by using various techniques (by a manual or tool-based instrument as well as by an aggregation of results of refining measures). Class Factor constitutes a property of the software product (or part of it) that is related to the product's quality that can be decomposed into a number of sub-factors by means of a "refines" relationship. A factor can influence a factor from another factor hierarchy. The influence is specified by an impact relationship (from Class Impact). To define criteria to evaluate the extent that a factor is present in a software product Quamoco used Class Evaluation. Each measurement has a result which is defined by using different measurement methods: aggregation and instrument:

- Aggregation: used to aggregate values of other measures, it describes how the values of other measures can be aggregated to determine a derived value.
- Instrument: used to determine the value directly using an external tool or a manual assessment, it describes how the measurement is technically performed.

III. ANALYTIC SOFTWARE METRICS META-MODELS - COMPARATIVE STUDY

For the comparison of the most renowned software quality measurement meta-models, we have collected data from various versions of each meta-model classes and characteristics, which is shown below in the table that representing the list of features of each measurement meta-model:

TABLE 1. COMPARISON CHART OF SOFTWARE MEASUREMENT QUALITY META-MODELS CLASSES

SMM	Quamoco	SMM	Quamoco
SmmModel	Quality Model	X	X
MeasureLibrary	-	X	-
Measure	Measure	X	X
Measurement	Measurement Result	X	X
Characteristic	-	X	-
Scope	Entity	X	X
Observation	Measure Instrument	X	X
MeasureCategory	Sub-Factor	X	X
-	Evaluation	-	X
-	Evaluation Result	-	X
MeasureRelationship	Impact	X	X
AbstractMeasureElement	-	X	-
-	Measure Aggregation	-	X
SmmElement	-	X	-
ObservationScope	-	X	-
UnitOfMeasure	-	X	-

The figure above shows different measurement meta-models along with the various parameters taken to evaluate and measure software quality. Every software development project requires some innovation. Using the concepts of the OMG in modeling, the view of software quality has been changed to think about the best approach software quality models employing quality meta-models. From our point of view, the SMM quality meta-model is the most useful one since it has been built based on an international consensus and agreement from different members of the OMG organization. So the most generic meta-model covering the majority of characteristic is The SMM, but the Quamoco still supplying a better visibility of the software development process and the quality of artifacts, using a practical aspect of metrics to control, monitor and evaluate systems.

This analysis can be used to define “how to measure the functionality of the software and how we can their characteristics be improved”. The increasing significance of software measurement has to lead to an increase amount of research on developing the new software measures. In this paper, we have presented the basic of measurement quality meta-models. They provide a basis for measuring many of the characteristics like size, complexity, performance, quality etc. It provides some help for researchers and practitioners for

better understanding and selection of software metrics meta-model for their purposes.

IV. CONCLUSION

This presentation of two approaches of quality measurement based on metrics meta-model, represents a new aspect of software measurement quality, the purpose is automating the process for measuring quality using the proposed approach and MDA transformations in a modeling framework, to save time, resources and efforts. As you noticed that the SMM is more detailed and more wide defined as Quamoco measurement. The main approach for developing standards of quality measurement meta-models is to satisfy the requirements of the developers, maintainers, purchasers, and end clients.

Future work can include comparison of other software quality measurement meta-model with realistic data which can be used to propose a new and rather efficient software quality measurement meta-model.

References

- [1] DeMarco, Tom. Controlling Software Projects: Management, Measurement and Estimates. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 1986
- [2] 2. Bansiya, J. and Davis, C. G, A hierarchical model for object-oriented design quality assessment. IEEE Trans. 2002
- [3] 3. Karine Mordal, Jannik Laval, Stéphane Ducasse, Measurement models of software quality.2011
- [4] 4. Lochmann, K, Heinemann, L, Klas, M The Quamoco product quality modelling and assessment approach Institute of Software Technol., University of Stuttgart, Stuttgart, Germany. 2014
- [5] 5. Sanjay Kumar Dubey, Soumi Ghosh, Prof. (Dr.) Ajay Rana, Comparison of Software Quality Models – An Analytical Approach, Amity University, Sec-125, NOIDA, India.2012
- [6] 6. Pierre Marie Oum Oum Sack, thèse Contribution à l'étude de la qualité du logiciel Approche à base d'apprentissage automatique et de transformation de modèles .2009
- [7] 7. Michael Kläs, Klaus Lochmann, Lars Heinemann, Evaluating a Quality Model for Software Product Assessments – A Case Study. 2014
- [8] 8. Roland Kaschek, Lois M.L. Delcambre. Springer Science & Business Media, 4 févr. Book: The Evolution of Conceptual Modeling. 2011
- [9] 10. DeMarco, Tom. Controlling Software Projects: Management, Measurement and Estimates. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 1986
- [10] 11. Boukouchi Youness, Marzak Abdelaziz, Benlahmer Habib et Moutachaouik Hicham, Comparative Study of Software Quality Models, IBN ZOHR University, Agadir, Morocco. 2013
- [11] 12. The Quamoco Product Quality Modelling and Assessment Approach Stefan Wagner , Klaus Lochmann , Lars Heinemann , Michael Klas, Adam Trendowicz† , Reinhold Plosch , Andreas Seidl, Andreas Goebk and Jonathan Streit 2014
- [12] 13. How to Evaluate Meta-models for Software Quality? Michael Kläs, Constanza Lampasona, Sabine Nunnenmacher Fraunhofer Institute for Experimental Software Engineering Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern, Germany 2014
- [13] 14. Architecture-Driven Modernization (ADM): Structured Metrics Meta-Model (SMM) <http://www.omg.org/spec/SMM/>. 2015

Developing and generating mobile applications with a Model Driven Architecture approach

Hanane BENOUDA¹, Mostafa AZIZI¹, Redouane ESBAl¹, Mimoun MOUSSAOUI¹

¹ MATSI Laboratory, EST Oujda, Mohammed First University (UMP), Oujda, Morocco
{benouda.89, es.redouane}@gmail.com, {azizi.mos, m.moussaoui}@ump.ma

Abstract—the mobile applications development becomes more important and increasingly popular in our environment due to the thorough use of applications in mobile devices. The variety of mobile operating systems (IOS, Windows Phone, Android, etc.) makes enterprises and software engineers facing a big challenge to offer more services to their employees and customers using mobile devices with touch screens as smartphones, cars, tablets, watches and TVs. What makes software engineers facing a real challenge to develop the same application for these different operating systems. Given this development complexity, we directed our work to platforms using Model Driven Architecture approach (MDA). In this paper, we present a methodology based on the MDA to generate source code for mobile applications according to the principal ‘Develop Once, Use Everywhere’. To adopt this approach, analysis and modeling of UML class diagrams is needed, and then the adoption of the MDA approach to generate specific code using Aceleo in order to accelerate and facilitate the development of mobile applications. The transformation rules defined in this paper can generate, from the class diagram, a classes Java files containing the necessary code of a mobile application.

Keywords— *Software engineering; MDA; UML; QVT; Aceleo; code generation; mobile application*

I. INTRODUCTION

Nowadays, Mobile devices become an alternative to personal computers with different Operating Systems (like Android, iOS and Windows Phone) with different tools and programming languages. This diversity makes the development and maintenance of mobile applications a challenging task and the development of the same application for these different mobile technologies is an exhausting task.

In this context some help may result from Model Driven Engineering (MDE), which allowing the use of modeling languages to automate the generations of all or part of applications from the model when variability and customizability are tow inevitable requirements.

The interest for the MDE approach was increased towards the end of the last century, when the OMG group had made public its initiative Model Driven Architecture (MDA) in 2001 as a restriction of the MDE. The MDE approach is based on transformations between models, from the most abstract to the most specific one, and code generation step in the end which emits source code running with little customization.

Model Driven Architecture [1] approach is centered on

models. The main objective is to obtain from mainly documentary models to productive models, using of a number of operations on these models to produce applications. This approach provides significant advances to control the development of software application and to permit productivity gains, increased reliability, and major improvement in sustainability and best ways to treat changing constraints.

This paper proposes the MDA approach for Mobiles applications development. Our approach includes Model to Model transformations (M2M) using Query/View/Transformation (QVT) and Model to Text transformations (M2T) using Aceleo with the aim to accelerate and facilitate the development of Mobiles Applications.

The remaining of the paper is organized as follows: the second section presents some related works. The MDA approach for Android applications is the main topic of the third section. In the fourth section, we discuss the applicability of our approach through a case study.

II. RELATED WORKS

The MDA approach has demonstrated itself for the development of enterprise applications and may also bring a lot for mobile application. MDA ensures also the gain productivity and sustainability of expertise while addressing the issues of fragmentation of mobile platforms. As matter of the fact, in the last years different studies have been interested in this direction.

In [18], authors present an UML profile for the modeling of user interfaces using QVT to produce the different transformations.

In [14], paper proposes an approach to design of the user interface (UI) of mobile applications. The authors utilize Xtext to define a DSL and Xtend 2 to make different transformations. In [7], authors use the implementation of the MDA approach in order to model and generate graphical interfaces for mobile platforms. This method presents the benefit of automatically generating graphical interfaces for various mobile platforms from a UML model, and the MDA transformation rules are expressed in the ATL (Atlas Transformation Language).

In our paper, we present an approach based on the MDA standard to model and generate mobile applications. MDA

approach provides a PIM model and transforms it into PSM models then generates code source for our mobile applications. The MDA transformation rules are expressed in the Query/View/Transformation (QVT) [2] and the M2T transformation using Acceleo [5].

III. MDA APPROACH FOR MOBILE APPLICATION

Android is mobile Linux-based Operating system. An application on Android includes several activities. An activity usually presents a single visual user interface in Android [6]. Fig.1 illustrates the seven life cycle methods of an Android activity which describe how this later will behave at its different states.

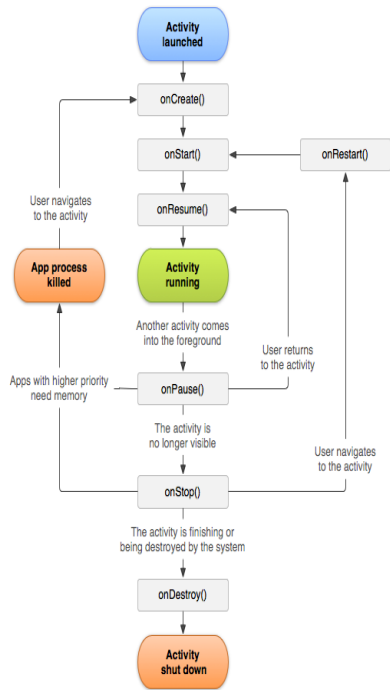


Fig. 1. Android Activity Life Cycle [6]

The MDA approach for Android application development supports UML modeling and automatic code generation. This paper proposes how model the structure and behavior of an Android application using UML class diagram. Our modeling is based on Model View Controller (MVC) pattern for implementing the android application. MVC pattern divides a software application into three interconnected parts: Models, View and Controllers (see Fig. 2).

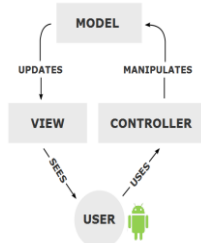


Fig. 2. Mobile MVC Architecture

The automation is the main advantage of MDA in the development of Android application. To demonstrate the

automation provides by our MDA approach, we are using the “Elaborationist” approach (see Fig. 3). With the Elaborationist approach, the definition of the application is built up progressively as you progress through from PIM to PSM to Codes. When the PIM has created, the tool generates a skeleton or first-section PSM which the developer can then “elaborate” by adding more information or detail. Similarly, the final code is generated from PSM, and this can also be elaborated.

The QVT [2] tool is used to do PIM to PSM transformation and the Acceleo [5] tool is used to generate the Android code. Our Android code generation is based on class diagrams, which are used by Acceleo to generate the application structure. The relationship between classes or interfaces, as association and inheritance, are respected during the code generation.

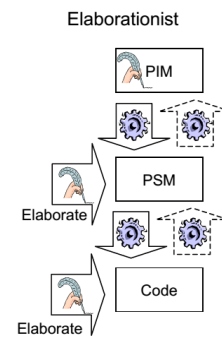


Fig. 3. Elaborationist Approach [19]

IV. CASE STUDY

In our case study we used the CRUD-pattern, to create, read, update and delete instances of some entity. This pattern exists in many applications today; the next figure (Fig. 4) demonstrates an example CRUD-pattern for a customer management application on an android smartphone. It represents a list of customers, where you may also create new customer, update existing ones, or delete customers that are no longer needed.

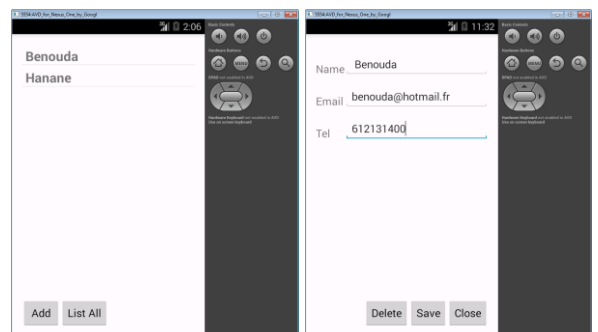


Fig. 4. Examples of screens involved with a classic CRUD-pattern for an entity

A. Transformation Rules

In this section we present the different metaclasses that constitute the UML source metamodel and the Android target meta-model, used to develop the algorithm of transformation between the source and target model to generate the android code source. Fig. 5 shows the source metamodel simplified UML model and the Fig. 6 illustrates an Instance of UML Model.

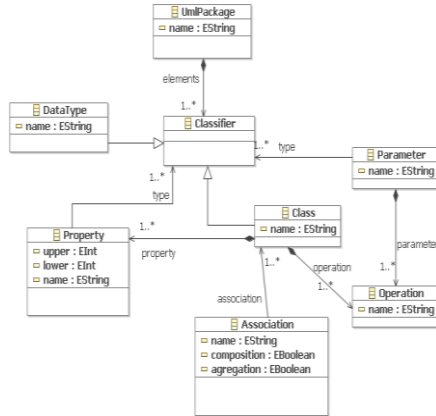


Fig. 5. Simplified UML source metamodel

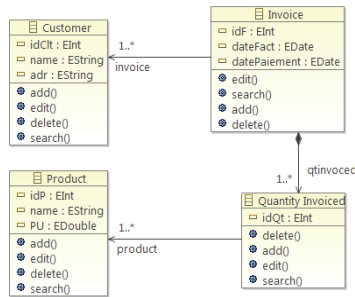


Fig. 6. Instance of UML Model

The Android metamodel simplifies the creation of PSMs. Its objective is to help the creation of models that represent applications for an Android platform. The Fig.7 shows (part of) the Android target metamodel.

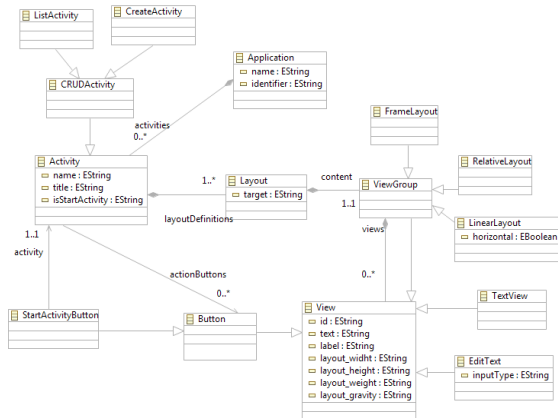


Fig. 7. Simplified Android target metamodel

The development of many meta-models requires multiple model transformations. Since two meta-models were developed, the Model to Model (M2M) transformations and Model to Text (M2T) transformation is required to generate the necessary source code for an application that may be run on an Android device. The M2M transformations are implemented using QVT. The M2T transformations are implemented using Aceleo.

In this case, our application is constituted by 2 screens; first screen will display all customers in the database and the second screen is detail screen. We may automatically generate the source files in android project from a UML model consistent with our approach.

The transformation from the PIM towards the android code source is realized with Aceleo, and the writing of the transformation rules itself does not present any problems in practice. It simply boils down to creating a text file where the transformation rules are written.

Fig. 8 presents the transformation rules to generate a Java classes and XML files.

```
[template public generateElement(aPack : Package)]
[comment @main/]
[file ('AndroidManifest.xml', false, 'UTF-8')]
[pack2Manifest(aPack)]
[/file]
[file ('DBHelper.java', false, 'UTF-8')]
[pack2DHelper(aPack)]
[/file]
[for (c:Class[aPack.elements])]
[file (c.name.concat('.java'), false, 'UTF-8')]
[class2bean(c)]
[/file]
[file (c.name.concat('Detail.java'), false, 'UTF-8')]
[class2detail(c)]
[/file]
[file (c.name.concat('Repo.java'), false, 'UTF-8')]
[class2repo(c)]
[/file]
[file ('MainActivity'.concat(c.name).concat('Repo.java'), false, 'UTF-8')]
[class2repo(c)]
[/file]
[file ('MainActivity'.concat(c.name).concat('.java'), false, 'UTF-8')]
[class2MainActivity(c)]
[/file]
[/for]
[/template]
```

Fig. 8. Template of Generated Elements

B. Result of Code Generation Process

This section illustrates the result of code generation process. We show an example of some generated elements.

Fig.9 illustrates the code generated for the AndroidManifest file.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
package="com.haname.InstanceTest"
android:versionCode="1"
android:versionName="1.0" >

<uses-sdk
android:minSdkVersion="8"
android:targetSdkVersion="21" />

<application
android:allowBackup="true"
android:icon="@drawable/ic_launcher"
android:label="@string/app_name"
android:theme="@style/AppTheme" >

<activity
android:name=".MainActivityclient"
android:label="@string/app_name" >
<intent-filter>
<action android:name="android.intent.action.MAIN" />
<category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
</intent-filter>

</activity>
<activity
android:name=".clientDetail"
android:label="@string/title_activity_client_detail" >
</activity>
</application>

</manifest>
```

Fig. 9. AndroidManifest file generated

Fig. 10 presents the code generated for the DBHelper file which allows the creation of SQLite Database for Android.

```

package InstanceTest;

public class DBHelper extends SQLiteOpenHelper {

    private static final int DATABASE_VERSION = 4;
    // Database Name
    private static final String DATABASE_NAME = "InstanceTest.db";
    public DBHelper(Context context) {
        super(context, DATABASE_NAME, null, DATABASE_VERSION);
    }

    @Override
    public void onCreate(SQLiteDatabase db) {
        //All necessary tables you like to create will create here
        String CREATE_TABLE_client = "CREATE TABLE " + client.TABLE +
        "("+client.KEY_ID + " INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT "
        +","+client.KEY_name+ " TEXT "+","+client.KEY_email+ " TEXT
        "+","+client.KEY_age+ " INTEGER "+");";
        db.execSQL(CREATE_TABLE_client);
    }

    @Override
    public void onUpgrade(SQLiteDatabase db, int oldVersion, int
    newVersion) {
        // Drop older table if existed, all data will be gone!!!
        db.execSQL("DROP TABLE IF EXISTS "+ client.TABLE);
        // Create tables again
        onCreate(db);
    }
}

```

Fig. 10. DBHelper.java class generated

Conclusion

The diversity of mobile technologies makes the development of the same application for different platforms like a complicated and exhausting task to ensure the largest dissemination. In this paper we propose a MDA approach to generate the code following the CRUD operations for an Android application from the UML class diagrams. The purpose of our contribution is to develop all meta-classes needed to be able to generate a mobile application respecting an Android platform and then we applied the approach by template and used QVT and Acceleo as a transformation language. The transformations rules were developed using to browse the source model instance class diagram, and generate, through these rules, a class files containing java codes according to our target model. The algorithm of transformation manages all CRUD operations.

In the future, this work should be extended to allow the generation of other components of Mobile application besides the configuration files. Afterward we can consider integrating other mobile platforms like iOS and Windows Phone. We aim also to do reverse engineering.

References

- [1] MDA- The Architecture of Choice for Changing World. <http://www.omg.org/mda/>.
- [2] Meta Object Facility (MOF) 2.0 Query/View/Transformation, V1.1, (2011). <http://www.omg.org/spec/QVT/1.1/PDF/>
- [3] Object Constraint Language (OCL), Version 2.4, (2014). <http://www.omg.org/spec/OCL/2.4/PDF>
- [4] Unified Modeling Language (UML), Version 2.4.1, (2011). <http://www.omg.org/spec/UML/2.4.1/>
- [5] Acceleo, <http://www.eclipse.org/acceleo/>.
- [6] Android Developers. <http://developer.android.com/index.html>.

- [7] A. Sabraoui, M.E. Koutbi and I. Khriess, GUI Code Generation for Android Applications Using a MDA Approach, *Mobile Intell. Syst. Team (MIS)*, Ecole Nat. Super. d'Inf. et d'Anal. Des Syst. (ENSIAS), Rabat, Morocco, IEEE, (2012), November 5-6.
- [8] B. Min, M. Ko, Y. Seo, S. Kuk, and H. S. Kim, A UML metamodel for smart device application modeling based on Windows Phone 7 platform, *TENCON 2011 - 2011 IEEE Region 10 Conference*, (2011) November 21-24, Bali (page. 201-205) .
- [9] C. Atkinson and T. Kuhne. Model-driven development: a metamodeling foundation. *Software, IEEE*, 20(5):36 – 41, (2003) september.-october.
- [10] F. A. Kraemer et al., *Engineering android applications based on uml activities*, Proceedings of the 14th international conference on Model driven engineering languages and systems (MODELS'11), Jon Whittle, Tony Clark, and Thomas Khne (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, (2011), (Page: 183– 197).
- [11] J. A. Monte-Mor, E. O. Ferreira, H. F. Campos, A. M. da Cunha, and L. A. V. Dias, *Applying MDA Approach to Create Graphical User Interfaces*, Eighth International Conference on Information Technology: New Generations, Las Vegas, NV, IEEE, (2011) April 11-13 , Page (766-771).
- [12] R. Esbai, M. Erramdani, S.Mbarki, I. Arrassen, A. Meziane, M. Moussaoui, Transformation by modeling MOF 2.0 QVT: from UML to MVC2 web model", *INFOCOMP*, v. 10, no. 3, p. 01-11, (2011) September.
- [13] M. Lachgar, A. Abdali, Generating Android graphical user interfaces using an MDA approach, *Information Science and Technology (CIST)*, 2014 Third IEEE International Colloquium in , vol., no., pp.80,85, (2014) October 20-22.
- [14] M. Lachgar, A. Abdali, MODELING AND GENERATING THE USER INTERFACE OF MOBILE DEVICES AND WEB DEVELOPMENT WITH DSL, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 10th February 2015, Vol. 72. No. 1 – (2015).
- [15] Parada, G. Abilio, and Lisane B. de Brisolar. A model driven approach for Android applications development. *Computing System Engineering (SBESC)*, 2012 Brazilian Symposium on. IEEE, (2012).
- [16] Olivier Le Goaer ,Sacha Waltham, Yet another DSL for cross-platforms mobile development, *Proceedings of the First Workshop on the Globalization of Domain Specific Languages*, p.28-33, (2013) July 01-01 , Montpellier, France [doi>10.1145/2489812.2489819].
- [17] I. Madari, L.Lengyel, and T. Levendovszky, Modeling the User Interface of Mobile evices with DSLs, 8th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics, Budapest, Hungary, (2007) November 15-17, pp. 583-589.
- [18] R. Mannadiar, and H. Vangheluwe, Modular synthesis of mobile device applications from domain-specific models, *Proceedings of the 7th International Workshop on Model-Based Methodologies for Pervasive and Embedded Software*, New York, USA, (2010), pp. 21-28.
- [19] M.: McNeile: The Vision with the Hole? ;Metamaxim, (2003).

Web-Marketing 3.0 In Social Network using MDA Approach and Pulse detector.

Lamlili El Mazoui Nadori yasser*
EHEIO School of engineering
EHEIO Laboratory
Oujda, Morocco
lamlilyasser@gmail.com

Lamlili El Mazoui Nadori Mohamed
Mohammed First University
LaMSD Laboratory
Oujda, Morocco
Mohamed.lamlili@gmail.com

Esbai Redouane
Mohammed First University
MATSI Laboratory
Oujda, Morocco
es.redouane@gmail.com

Boutayeb Wiam
Mohammed First University
LaMSD Laboratory
Oujda, Morocco
wiam.boutayeb@gmail.com

Abstract—In this paper we have focused on the evolution of the Web-marketing meaning the passage of the Web-marketing 2.0 to 3.0, baptized " Semantic Web-marketing ", the main idea being to make easier to the Internet user to use a huge and disrupting stream of information and make it organized and easily accessible.

As so, we have chosen to use the N-tiers applications and the MDA (Model Driving Architecture) transformation. In this paper we are going to present a model-driven approach to the development of N-tiers web applications based on the UML class diagram. The transformation language is the MOF 2.0 QVT (Meta-Object Facility 2.0 Query-View-Transformation) standard which defines the meta-model for the development of model transformation.

Then we introduced a webcam-pulse-detector to detect the heart beat of the clients by an imaging solution using ambient light for catching their preferences.

Keywords: *Web-Marketing, Transformation by modeling, N-tiers architecture, Transformation rules, MOF 2.0 QVT, Meta-model, webcam-pulse-detector, ambient light.*

I. INTRODUCTION

The Webmarketing 3.0 is the way to attract the clients by different ways, as so we introduced a innovated technique called "Detection of the cardio-vascular pulse wave" and can be done by means such as variations in air pressure, impedance, or strain. Photo-plethysmography (PPG)[1], introduced in the 1930's using light reflectance or transmission and is the least expensive method and simple to use. PPG is based on the principle that blood absorbs light more than surrounding tissue so variations in blood volume affect transmission or reflectance correspondingly. Applications of PPG include monitoring of oxygen saturation (pulse oxymetry), heart (HR) and respiration (RR) rates, blood pressure, cardiac output, assessment of autonomic functions and detection of peripheral vascular diseases. Remote, non-contact pulse oxymetry and PPG imaging have been explored only relatively recently [2, 3]. In this work we are going to transform an UML Model concerning an advertisement in a social network to generate a source code.

In a recent work [21], the authors have developed a source and a target meta-models. The first was a PIM meta-model specific to class diagrams. The second was a PSM meta-model for MVC2 (Model-View-Controller) web applications (particularly Struts), then they have elaborated a transformation rules using the approach by programming. The purpose of our contribution is to produce and generate an N-tiers PSM model, implementing MVC2, DI (Dependency Injection) and DAO (Data Access Object) patterns, from the class diagram. In this case, we elaborate a number of transformation rules using the approach by modeling and MOF 2.0 QVT[4], as transformation language, to permit the generation of an XML file that can be used to produce the required code of the target application. The advantage of this approach is the bidirectional execution of transformation rules[5].

II. MODEL DRIVEN ARCHITECTURE (MDA)

In November 2000, OMG, a consortium of over 1 000 companies, initiated the MDA approach. The key principle of MDA is the use of models at different phases of application development. Specifically, MDA advocates the development of requirements models (CIM), analysis and design (PIM) and (PSM) code [6].

The MDA architecture is divided into four layers. In the first layer, we find the standard UML (Unified Modeling Language), MOF (Meta-Object Facility) and CWM (Common Warehouse Meta-model). In the second layer, we find a standard XMI (XML Metadata Interchange), which enables the dialogue between middlewares (Java, CORBA, .NET and web services). The third layer contains the services that manage events, security, directories and transactions. The last layer provides frameworks which are adaptable to different types of applications namely Finance, Telecommunications, Transport, medicine, E-commerce and Manufacture, etc.).

The major objective of MDA is to develop sustainable models, those models are independent from the technical details of platforms implementation (J2EE, DotNet, PHP

or other), in order to enable the automatic generation of all codes and applications leading to a significant gain in productivity. MDA includes the definition of several standards, including UML [8], MOF [12] and XMI [14].

III. N-TIERS ARCHITECTURE

N-tiers application architecture provides a model for developers to create a flexible and reusable application and provides some advantages that are vital to the business continuity of the enterprise. Typical features of a real life N-tiers may include the Security, Availability, Scalability, Manageability, Easy Maintenance and Data Abstraction. To most people, an N-tiers application is anything that is divided into discrete logical parts. The most common choice is a three-part breakdown presentation, business logic, and data access although other possibilities exist. In this paper, we are using the following layers:

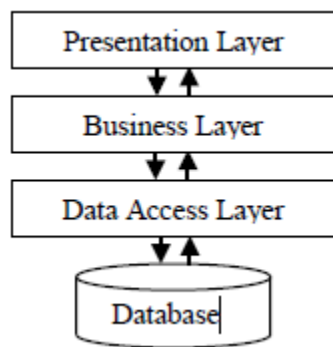


Fig.1 N-tiers Layers

Each Layer can be developed independently of the other provided that it adheres to the standards and communicates with the other layers.

A. The presentation Layer with MVC2 pattern

Along time ago, web applications were very simple and the technology that was used to develop them was Common Gateway Interface (CGI). As applications became more complex, the defects and limits of this technology have emerged. Slowness and considerable consumption of memory. Therefore, the J2EE platform applies the architecture MVC2 [7]. In this paradigm, the model represents the information system consisting of javaBeans. The view represents the HTML pages returned to the user, and consists of JavaServerPage (JSP). The Controller is the glue between the two and it is composed of servlets. In short, during the early 80's with smalltalk, MVC was widespread in the field of object development. Many frameworks that implements MVC2 pattern have emerged, among them: Struts [1], PureMVC [19], Gwittir [14], SpringMVC [15], Zend [18], ASP.NET MVC2 [5]. Struts remains the most mature solution that has earned the trust of most developers, that is why we have taken it into account in our source meta-model.

B. The Business layer with Data Transfer Object and Dependency Injection patterns

In an article written in early 2004, Martin Fowler asked what aspect of control is being inverted. He concluded that it is the acquisition of dependent objects that is being inverted. Based on that revelation, he coined a better name for inversion of control: dependency injection [19]. In other words, Dependency Injection is a worthwhile concept used within applications that we develop. Not only can it reduce coupling between components, but it also saves us from writing boilerplate factory creation code over and over again. Many frameworks that implements DI pattern have emerged, among them: Spring [15], Symfony dependency injection [17], Spring.NET [6], EJB, PicoContainer [13]. (We have used some Spring classes in our source meta-model).

IV. THE WEBCAM-PULSE-DETECTOR PROCESS

A python code that detects the heart-rate of an individual using a common webcam or network IP camera. Tested on OSX 10.7 (Lion), Ubuntu 13.04 (Ringtail), and Windows 7. Inspired by reviewing recent work on Eulerian Video Magnification, with motivation to implement something visually comparable (though not necessarily identical in formulation) to their pulse detection examples using Python and OpenCV. This goal is comparable to those of a few previous efforts in this area (such as <https://github.com/mossblaser/HeartMonitor>). This code was developed at NASA Glenn Research Center in support of OpenMDAO, under the Aeronautical Sciences Project in NASA's Fundamental Aeronautics Program, as well as the Crew State Monitoring Element of the Vehicle Systems Safety Technologies Project, in NASA's Aviation Safety Program. A list of other open-source NASA codes can be found at code.nasa.gov.

This application uses OpenCV to find the location of the user's face, then isolate the forehead region. Data is collected from this location over time to estimate the user's heart rate. This is done by measuring average optical intensity in the forehead location, in the subimage's green channel alone (a better color mixing ratio may exist, but the blue channel tends to be very noisy). Physiological data can be estimated this way thanks to the optical absorption characteristics of (oxy-). With good lighting and minimal noise due to motion, a stable heartbeat should be isolated in about 15 seconds. Other physiological waveforms (such as Mayer waves) should also be visible in the raw data stream. Once the user's heart rate has been estimated, real-time phase variation associated with this frequency is also computed. This allows for the heartbeat to be exaggerated in the post-process frame rendering, causing the highlighted forehead location to pulse in sync with the user's own heartbeat.

Support for detection on multiple simultaneous individuals in a single camera's image stream is definitely possible, but at the moment only the information from one face is extracted for analysis.

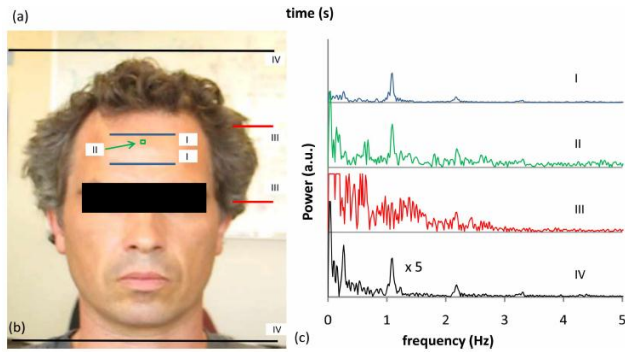


Fig 2. Signals corresponding power spectra

V. Transformation process from UML to N-tiers implementation

CRUD operations (Create, Remove, Update, and Display) are most commonly implemented in all systems. That is why we have taken into account in our transformation rules these types of transactions. We first developed EMOF models corresponding to our source and target meta-models, and then we implemented the algorithm using the transformation language QVT Operational Mappings. To validate our transformation rules, we conducted several tests. For example, we considered the class diagram (see Figure 7). After applying the transformation on the UML model, composed by the classes User and advertisement, we generated the target model.



Fig. 4 UML instance model

This Figure represents the first part of the code of the transformation of UML model source to N-tiers target model.

```

1 transformation UML2CRUD(in umlModel:UML, out crudModel:N7TIER)
2
3 main() {
4   umlModel.objects().forEach { UmlPackage() -> map CrudProjectPackage() }
5 }
6
7 mapping UmlPackage() :> CrudProjectPackage() {
8   name := 'crud' + umlModel.name
9   dao := umlModel.objects().forEach { class() -> classDao() }
10  daoImpl := umlModel.objects().forEach { class() -> classDaoImpl() }
11 }
12
13 package BusinessPackage {
14   name := 'business'
15   dao := crudModel.objects().forEach { class() -> classDao() }
16   daoImpl := umlModel.objects().forEach { class() -> classDaoImpl() }
17 }
18
19 package PresentationPackage {
20   name := 'presentation'
21   view := umlModel.objects().forEach { class() -> classView() }
22 }
23
24 package ControllerPackage {
25   name := 'controller'
26   action := umlModel.objects().forEach { class() -> classAction() }
27 }
28
29 }
30
31 }

```

Fig 3. A transformation code UML2CRUD

The entry point of the transformation is the method 'main'. This method makes the correspondence between all the elements of the UmlPackage type of the input model and the element of the CrudProjectPackage type of the output model. The objective of the second part of this code is to transform a UML package into N-tiers package, by creating the elements of type package 'Dao', 'Business' and 'Presentation'. It is a question of transforming each class of package UML to Jsp page and Action in the View package, to DTO, IService and ServiceImpl in the Business package, and to Pojo, IDao and DaoImpl in the Dao package, without forgetting to give names to the different packages.

B.Result:

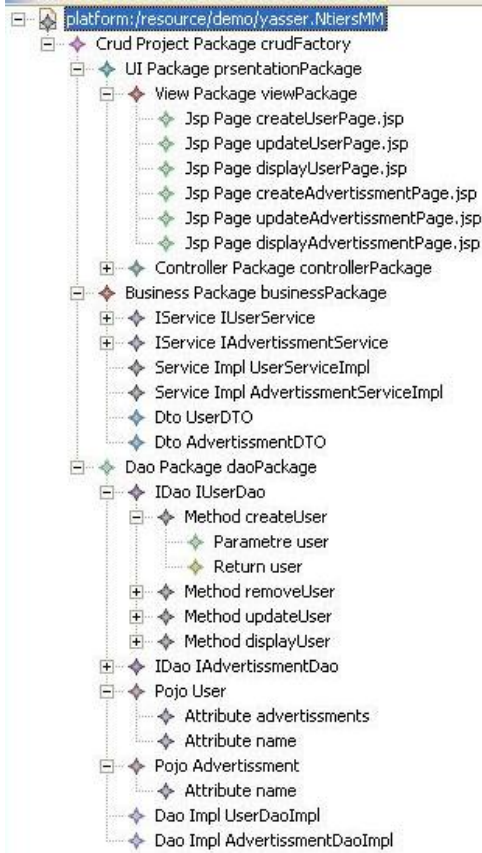


Fig. 5 Generated PSM N-tiers Web model

The first element in the generated PSM model is UIPackage which includes viewPackage that contains the JSPs, namely DisplayUserPage.jsp, Display-AdvertisementPage.jsp, CreateUserPage.jsp, CreateAdvertisementPage.jsp, UpdateUserPage.jsp, and UpdateAdvertisementPage.jsp. Since the operation of the removal requires any form, we'll go to the controllerPackage element, which contains a single element ActionMapping. The latter contains eighteen delegating action proxy whose names are respectively DisplayXAction, CreateXAction, UpdateXAction, RemoveXAction, CreateXEndAction, UpdateXEndAction, where X should be replaced by User, and Advertisement. Operations for creation and update, add forms to enter new values. For this reason, we add CreateXEndAction and UpdateXEndAction. The second element in the generated PSM model is businessPackage which includes three services' interfaces, three services' implementations and three Dtos' objects correspond to the two objects 'User' and 'Advertisement'. The last element in the generated PSM model is DaoPackage which contains three Pojos' objects that contains their attributes, three Daos' interfaces that contains methods with their parameters and their implementations.



Fig. 6 Sample of the generated Web site

VI. Conclusion

In this paper, we applied the MDA approach to generate the N-tiers web application based on UML class diagram to generate a skeleton of a social network and create appropriate advertisements to the users in function of them profiles. This involves developing all meta-classes needed to be able to generate an N-tiers application respecting a MVC2, DI and DAO patterns, then we applied the approach by modeling and used the MOF 2.0 QVT standard as a transformation language. The transformation rules defined allow browsing the source model instance class diagram, and generating, through these rules, an XML file containing layers of N-tiers architecture according to our target model. This file can be used to produce the necessary code of the target application. The algorithm of transformation manages all CRUD operations. Moreover, it can be re-used with any kind of methods represented in the UML class diagram. In the future, this work should be extended to allow the generation of other components of Web application besides the configuration files. For instance, we will be able to provide part of user interface. Afterward we can consider integrating other execution platforms like PHP and DotNET.

REFERENCES

- [1] A. Jonsson, "Pressure Sore Etiology - Highlighted with Optical Measurements of the Blood Flow, Chapter 3, New sensor design made to discriminate between tissue blood flow at different tissue depths at the sacral area," PhD thesis (Mälardalen University Press, 2006).
- [2] J. Allen, "Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement," *Physiol. Meas.* 28, R1-R39 (2007).
- [3] L. G. Lindberg and P. A. Oberg, "Photoplethysmography II. Influence of light-source wavelength," *Med. Biol. Eng. Comput.* 29, 48-54 (1991).
- [4] AndromDA. <http://www.andromda.org/>.
- [5] ASP.NET MVC site <http://www.asp.net/mvc/>

- [6] Blanc, X., MDA en action : Ingénierie logicielle guidée par les modèles (Eyrolles, 2005).
- [7] Bezivin, J., Busse, S., Leicher, A., Suss, J.G, Platform Independent Model Transformation Based on TRIPLE. In Middleware'04: Proceedings of the 5th ACM/IFIP/USENIX International Conference on Middleware, pages 493- 511,2004.
- [8] Bezivin, J., Hammoudi, S., Lopes, D., Jouault, F., Applying MDA approach for web service platform. In EDOC'04 proceedings of the 8th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference, pages 58-70, 2004.
- [9] Czarnecki, K., Helsen, S., Classification of Model Transformation Approaches, in online proceedings of the 2nd OOPSLA'03 Workshop on Generative Techniques in the Context of MDA. Anaheim, October, 2003.
- [10] Cong, X., Zhang, H., Zhou, D., Lu, P., Qin, L., A Model- Driven Architecture Approach for Developing E-Learning Platform , Entertainment for Education. Digital Techniques and Systems Lecture Notes in Computer Science, Volume 6249/2010, 111-122, DOI: 10.1007/978-3-642-14533-9_12, 2010.
- [11] Distante, D., Rossi, G., Canfora, G., Modeling Business Processes in Web Applications: An Analysis Framework. In Proceedings of the The 22nd Annual ACM Symposium on Applied Computing (Page: 1677, Year of publication: 2007, ISBN: 1-59593-480-4).
- [12] Eclipse.org. ATLAS Transformation Language (ATL). <http://www.eclipse.org/m2m/atl/>.
- [13] Gharavi, V., Mesbah, A., Deursen, A. V., Modelling and Generating AJAX Applications: A Model-Driven Approach. Proceeding of the 7th International Workshop on Web- Oriented Software Technologies, New York, USA (Page: 38, Year of publication: 2008, ISBN: 978-80-227-2899-7)
- [14] Gwittir Source Web Site <http://code.google.com/p/gwittir/>
- [15] Hibernate Framework (<http://www.hibernate.org/>)
- [16] Jouault, F., Allilaire, F., Bézin, J., Kurtev, I., ATL: A model transformation tool. Science of Computer Programming-Elsevier Vol. 72, n. 1-2: pp. 31-39, 2008.
- [17] Koch, N., Transformations Techniques in the Model-Driven Development Process of UWE, Proceeding of the 2nd International Workshop Model-Driven Web Engineering, Palo Alto (Page: 3 Year of publication: 2006 ISBN: 1-59593- 435-9).
- [18] Kraus, A., Knapp, A., Koch N., Model-Driven Generation of Web Applications in UWE. Proceeding of the 3rd International Workshop on Model-Driven Web Engineering, CEUR-WS, Vol. 261, 2007
- [19] Fowler, M., Inversion of Control Containers and the Dependency Injection pattern (<http://martinfowler.com/articles/injection.html>)
- [20] Mbarki, S., Erramdani, M., Toward automatic generation of mvc2 web applications, InfoComp - Journal of Computer Science, Vol.7 n.4, pp. 84-91, December 2008, ISSN: 1807- 4545.
- [21] Mbarki, S., Erramdani, M., Model-Driven Transformations: From Analysis to MVC 2 Web Model, International Review on Computers and Software (I.R.E.CO.S.), Vol. 4. n. 5, pp. 612-620, September 2009.
- [22] Mbarki, S., Rahmouni, M., Erramdani, M., Transformation ATL pour la génération de modèles Web MVC 2, 10e Colloque Africain sur la Recherche en Informatique et en Mathématiques Appliquées, Theme5:Information Systems, CARI 2010.

/

Une Approche Dirigée par les Modèles pour la Modélisation d'un Test de l'Intelligence Emotionnelle

K. Arrhioui, S. Mbarki

Laboratoire MISC, Faculté des Sciences
Université Ibn Tofail
Kénitra, Maroc

arr.karim@gmail.com, mbarkisamir@hotmail.com

O. Betari, S. Roubi, M. Erramdani

Laboratoire MATSI, Ecole Supérieure de Technologie
Université Mohammed Premier
Oujda, Maroc

{beta.oualid, roubi.sarra, m.erramdani}@gmail.com

Résumé—L'intelligence émotionnelle est la capacité à reconnaître et comprendre ses émotions et celles des autres. Cette prise de conscience est utilisée pour gérer les comportements et les relations. Le quotient émotionnel (EQ) est l'indicateur de cette intelligence, c'est le fondement de plusieurs compétences utilisées chaque jour par l'individu, comme la gestion du temps et la prise de décision. Par conséquent, l'augmentation de ce quotient aura systématiquement un impact positif sur la vie personnelle et professionnelle. En réalité, avoir un EQ élevé demande l'acquisition de quatre compétences indispensables, à savoir, la conscience de soi, la conscience d'autrui, l'auto gestion et la gestion des relations. Plusieurs modèles permettent d'évaluer le quotient émotionnel. Dans ce papier, nous présentons comment nous allons adopter l'approche de l'ingénierie dirigée par les modèles (MDA) pour proposer notre propre modèle fondé sur la théorie de choix et la thérapie de la réalité (Théorie de William Glasser). Ce modèle ne permet pas seulement l'évaluation du quotient, il propose aussi le suivi personnalisé de l'individu lors de la phase de l'acquisition de la compétence émotionnelle. Le modèle développé fera l'objet de plusieurs transformations afin de générer une plateforme informatique de test et de suivi des émotions. Cette plateforme subira une étude statistique pour valider le modèle. Ce dernier récapitule un ensemble de concepts tels que la perception et les sensations du monde réel, la prise de conscience, les émotions et les comportements. En effet, les avantages de l'approche MDA permettent de personnaliser et d'adapter facilement ces concepts pour générer la plateforme selon le public cible. L'individu pourra, dans un premier temps, évaluer son quotient émotionnel, puis entamer la phase de suivi personnalisé proposé par la plateforme.

Mots-Clés— *Intelligence émotionnelle; Quotient émotionnel; Ingénierie dirigée par les modèles; Modèle; Unified Modeling Language*

I. INTRODUCTION

L'intelligence émotionnelle est apparue dans les travaux de recherches psychologiques depuis plus de 25 ans. Le nombre de publications concernant cet axe ne cesse d'augmenter. Elles montrent qu'un individu, émotionnellement intelligent, a des comportements effectifs, des actions alignées et des perceptions équilibrées. Cependant, les tests de l'intelligence émotionnelle sont en phase préliminaire et toujours en

développement. En effet, la majorité des tests disponibles sont dans leur première ou deuxième version [1] [2]. Donc, développer un test de l'IE et l'implémenter dans une plateforme informatique aidera, par exemple, les individus dans leurs développements personnels, et les entreprises dans leurs processus, souvent informatisés, de recrutement et de répartition des tâches.

D'autre part, les systèmes informatiques sont en développement continu. Les nouvelles plateformes et applications doivent inter-opérer avec les systèmes existants. Pour faire face à ces changements, l'Object Management Group (OMG) a proposé le MDA comme solution. Cette approche prend en charge l'évolution des normes dans les domaines d'application [3]. Elle permet de garantir la pérennité des savoir-faire, des gains de productivité et une prise en compte des plateformes d'exécution [4].

En combinant l'IE et le MDA, nous allons introduire notre modèle de test des émotions qui pourra être implémenté dans une plateforme informatique à l'aide des méta-modèles du MDA.

Ce papier est organisé comme suit : dans la deuxième section, nous présentons l'ingénierie dirigée par les modèles. L'intelligence émotionnelle et ses modèles feront l'objet de la troisième section. Ensuite, nous allons présenter les travaux connexes. Puis, l'approche proposée sera introduite dans la cinquième section. La dernière section conclut ce papier, et présente des perspectives de notre travail.

II. L'INGÉNIERIE DIRIGÉE PAR LES MODÈLES

Vers la fin de 2000, les membres de l'OMG ont révisé le document intitulé «Model Driven Architecture », et ont décidé de former une équipe dont le but est redéfinir formellement le MDA [3].

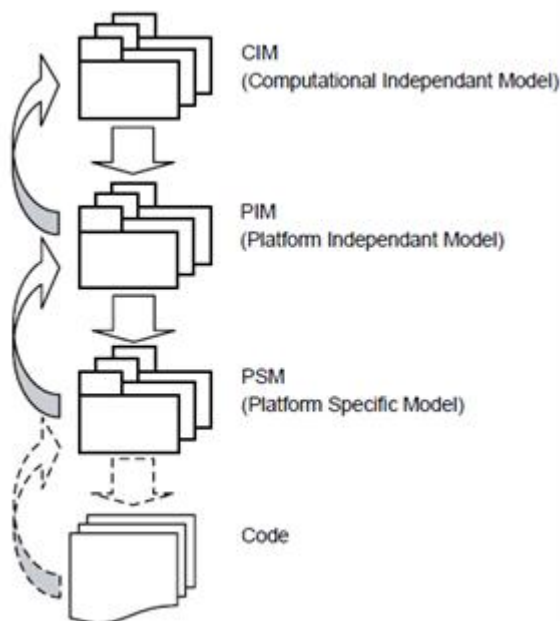
Le MDA répond aux défis que posent les systèmes interconnectés qui changent régulièrement. Il fournit une architecture assurant la portabilité, l'interopérabilité et l'indépendance des plateformes [3]. Cette architecture est divisée en trois couches [5] :

- Dans la première couche, on trouve le standard UML (Unified Modelling Language), MOF (Meta-Object Facility) et CWM (Common Warehouse Meta-model).
- Dans la deuxième couche, on trouve le standard XMI (XML Metadata Interchange) qui permet de dialoguer entre les middlewares (Java, CORBA, .NET et web services).
- La troisième couche contient les services qui gèrent les événements, la sécurité et les transactions. Elle fournit des frameworks utilisables dans différents types d'applications.

Il est à savoir que le terme « architecture » dans « l'Architecture dirigée par les Modèles » ne fait pas référence à l'architecture des systèmes modelés, mais à l'architecture des différents standards et modèles servant comme technologie de base au MDA.

MDA est composé de trois types de modèles, structurés en trois couches de base présentées dans la Fig. 1 [4] :

Fig. 1. Les couches de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles.



Ces modèles sont décrits comme suit [6] :

- Computation Independent Model (CIM) : il représente une spécification de haut niveau des fonctionnalités du système. Il indique exactement ce que le système est supposé faire, et cache toutes les spécifications technologiques.
- Platform Independent Model (PIM) : il permet l'extraction du concept commun de l'application indépendamment de la plateforme cible.
- Platform Specific Model (PSM) : il combine les spécifications dans le PIM avec les détails

nécessaires de la plateforme pour prévoir comment un système utilise un type particulier de plateforme. Cela conduit à inclure les détails spécifiques à la plateforme.

La raison de cette organisation de modèles est de développer des modèles de la logique métier des systèmes indépendamment des plateformes d'exécution, puis de transformer automatiquement ces modèles à des modèles dépendants des plateformes. La complexité des plateformes n'apparaît pas dans les modèles de la logique métier, mais elle se trouve dans la transformation.

III. L'INTELLIGENCE ÉMOTIONNELLE

A. Définition et Utilité

L'intelligence émotionnelle (IE) est la capacité et la compétence à identifier, évaluer, gérer et contrôler les émotions de soi-même et des autres [7]. Ses principes aident à évaluer le comportement des individus, les styles de gestion, les attitudes et les compétences interpersonnelles. L'IE est considérée comme ayant une grande importance dans des domaines tels que le profilage de l'emploi, la planification et le recrutement [8]. Un autre avantage majeur de l'intelligence émotionnelle est qu'il permet aux gens de mieux comprendre et gérer leurs émotions. Elle aide également à comprendre son comportement et ses relations avec les autres [7].

Il a été montré que le rôle de l'intelligence émotionnelle dans l'atteinte des postes de haut niveau d'une organisation est plus important que celui de l'intelligence intellectuelle et des compétences cognitives. La Table 1 ci-dessous montre la fréquence avec laquelle un individu ayant des compétences émotionnelles est devenu directeur d'une entreprise en comparaison avec les autres qui ont eu le même poste. La Table 2 montre la même logique avec un individu ayant des compétences cognitives [9] :

TABLE I. FRÉQUENCE DES COMPÉTENCES ÉMOTIONNELLES

Compétences émotionnelles	Fréquence
La maîtrise de soi	7x
L'empathie	3x
Le travail d'équipe	2.5x
La confiance en soi	2x

TABLE II. FRÉQUENCE DES COMPÉTENCES COGNITIVES

Compétences cognitives	Fréquence
La pensée analytique	1.2x
La pensée conceptuelle	1.5x

B. Modèles de l'intelligence émotionnelle

La définition exacte de l'intelligence émotionnelle a toujours été un défi. Les chercheurs sont en désaccord sur les terminologies à utiliser et comment le comportement peut affecter l'IE. Cependant, il y a eu plusieurs modèles mis en

avant qui tentent de définir et décrire l'intelligence émotionnelle [9].

1) *Le modèle basé sur la capacité :*

La majorité des recherches concernant ce modèle a été faite par Salovey et Mayer. Ils ont défini l'IE comme la capacité à percevoir l'émotion, intégrer l'émotion pour faciliter la pensée, comprendre les émotions et réguler les émotions pour favoriser le développement personnel. Le modèle propose quatre types de capacités émotionnelles :

- La perception émotionnelle : la capacité d'un individu de reconnaître ses propres émotions et à comprendre les émotions exprimées des visages, des voix et des images.
- L'utilisation émotionnelle : la possibilité d'utiliser les émotions afin d'effectuer d'autres activités cognitives.
- La compréhension émotionnelle : la capacité de percevoir les nuances d'émotions qui existent et comment les émotions interagissent entre elles.
- La gestion émotionnelle : la capacité d'autorégulation des émotions et de régulation des émotions chez les autres.

Ce modèle a été critiqué parce qu'il est basé sur le test du Quotient Intellectuel [9] [10].

2) *Le modèle de traits :*

Ce modèle a été publié en 2009 par Petrides. C'est un point de rupture de l'idée que l'intelligence émotionnelle est fondée sur les capacités. Au lieu de cela, il indique que les gens ont un certain nombre d'auto-perceptions et de traits émotionnels dans le cadre de leur personnalité. Ces traits ne sont pas mesurés scientifiquement, mais sont plutôt mesurés par l'auto-évaluation de l'individu. Cela suppose que ce dernier est en mesure de décrire avec précision ses propres traits [10].

3) *Le modèle de Daniel Goleman :*

C'est une combinaison des deux modèles ci-dessus. C'est le modèle le plus accepté et utilisé aujourd'hui. Il implique plusieurs compétences qui sont décomposées en ensembles de capacités, et qui forment ensemble le niveau de l'intelligence émotionnelle d'une personne [9]. Ces compétences sont [11] :

- La conscience de soi : c'est la capacité d'un individu à savoir ce qu'il ressent, et utiliser cela que pour guider sa prise de décision. C'est le fait d'avoir une évaluation réaliste de ses propres capacités et une confiance en soi.
- L'auto gestion : c'est la capacité de manipuler ses émotions afin qu'elles n'interfèrent pas, de se rétablir aisément d'une détresse émotionnelle et de prendre des initiatives, d'améliorer et de persévérer.
- La conscience d'autrui : c'est la capacité de percevoir et de comprendre ce que les autres ressentent comme émotions.
- La gestion des relations : c'est la capacité de bien gérer ses émotions dans les relations, d'interagir effectivement et d'utiliser de ces compétences pour persuader, diriger et négocier.

IV. TRAVEAUX CONNEXES

Plusieurs travaux ont été réalisés pour mettre en place des tests de l'intelligence émotionnelle.

Mayer, Salovey et Caruso ont présenté le Mayer Salovey Caruso Emotional Intelligence Test (MSCEIT) [12]. Il est construit à partir de leur modèle basé sur la capacité. L'échantillon normatif du MSCEIT est basé sur les données recueillies auprès de plus 50 sites de recherche comptant 5000 participants. Le MSCEIT offre deux options de notation [1] :

- Le consensus général : les notes sont attribuées selon la similitude aux réponses de l'échantillon normatif.
- Le consensus d'experts : les notes sont attribuées selon la similitude aux réponses de 21 experts en émotions.

Petrides a proposé le questionnaire de l'intelligence émotionnelle de trait (TEIQue) [10]. L'échantillon normatif compte 1721 individus. La notation est basée sur 20 variables (15 facettes, 4 facteurs et le trait global de l'IE). On cite parmi les facettes [1] :

- L'affirmation de soi
 - L'expression émotionnelle
 - La gestion émotionnelle
 - L'auto-motivation
 - La conscience d'autrui
- Les 4 facteurs de TEIQue sont :

- L'émotivité
- La maîtrise de soi
- La sociabilité
- Le bien-être

V. L'APPROCHE PROPOSEE

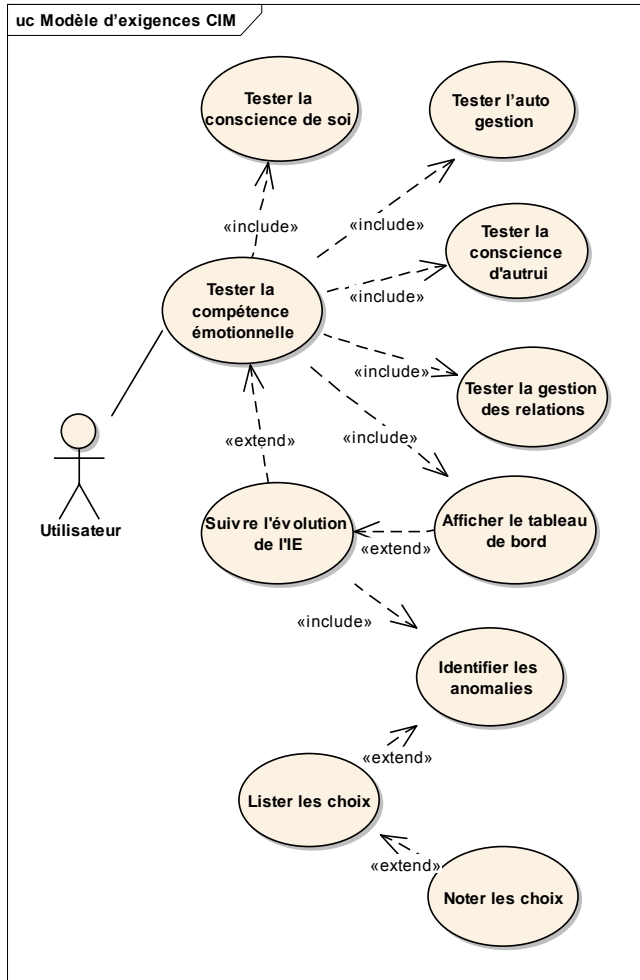
Notre travail consiste à concevoir un modèle capable de tester l'intelligence émotionnelle de l'individu. Par la suite, ce modèle sera implémenté dans une plateforme informatique en utilisant l'approche MDA.

Le modèle est une combinaison du modèle de Goleman, la théorie de choix et la thérapie de la réalité. Il va permettre d'évaluer le quotient émotionnel selon les quatre compétences de Goleman, d'identifier les anomalies et les points faibles de l'individu, puis, de proposer une phase individualisée d'acquisition de la compétence émotionnelle basée sur la notation de choix et la thérapie de la réalité.

Dans la Fig. 3, nous présentons le modèle au niveau d'abstraction du CIM (Computation Independent Model) sous forme d'un diagramme de cas d'utilisation. Il spécifie les exigences clés de la plateforme.

Le modèle présenté fera l'objet de plusieurs transformations afin de générer une plateforme informatique cible.

Fig. 2. Modèle proposé



VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'approche présentée dans ce papier permet de mettre en place un modèle de test de l'intelligence émotionnelle sur une plateforme informatique. Ce modèle sert aussi à identifier les

points faibles de l'individu, et à l'aider à trouver des choix judicieux.

La prochaine étape consiste à concevoir le PIM et le PSM en combinant le modèle de Goleman, la théorie de choix et les spécifications du MDA. Les transformations entre ces modèles feront l'objet des travaux futurs.

Références

- [1] C. Stough, D. H. Saklofske, J. D.A. Parker, *Assessing Emotional Intelligence*. Springer, 2009.
- [2] M. Erramdani, R. Hajbi, K. Arrhioui, I. Arrassen, "Analyse comportementale de l'entrepreneur au milieu universitaire," CIEU2015 Proceeding, 2015.
- [3] Object Management Group, *Model Driven Architecture (MDA), MDA Guide rev. 2.0*. Available: <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?ormsc/14-06-01/>
- [4] X. Blanc, *MDA en action: Ingénierie logicielle guidée par les modèles*. Eyrolles, 2005.
- [5] S. Mbarki, and M. Erramdani, "Towards automatic generation of MVC2 web applications," INFOCOMP, vol. 7, pp. 84-91, 2008.
- [6] [14] S. Roubi, M. Erramdani, and S. Mbarki, "Model driven architecture as an approach for modeling human machine interface," MEDICT Proceeding, 2015.
- [7] A. Ealias, J. George, "Emotional intelligence and job satisfaction: a correlational study," RJCBS, vol. 1, 2012.
- [8] J. M. George, *Emotions and Leadership: The Role of Emotional Intelligence*. SAGE Publications, 2000.
- [9] S. McPheat, *Emotional Intelligence*. MTD Training & Ventus publishing apS, 2010.
- [10] K. V. Petrides, "Ability and trait emotional intelligence," *The Wiley-Blackwell Handbook of Individual Differences*, Blackwell Publishing, 2011.
- [11] National Park Service, US Department of the Interior. *Goleman's EI Competencies*. Available: http://www.nps.gov/training/tel/Guides/Golemans_EI_Competencies.pdf
- [12] J. D. Mayer, P. Salovey, D. R. Caruso, G. Sitarenios, "Measuring emotional intelligence with the MSCEIT V2.0," *the American Psychological Association*, vol. 3, pp. 97-105, 2003.

An approach based on ADM for the generation of a Meta-model modernized for Zakat Calculation Platforms (ZCP)

Abdelaziz Mamouni¹, Abdelaziz Marzak², Zayed Al Haddad³, Boukouchi youness⁴

Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Sciences Ben M'sik University Hassan II Casablanca
Casablanca, Morocco

¹Mamouni.abdelaziz@gmail.com

²Marzak@hotmail.com

³Alhaddadtri@gmail.com

⁴y.boukouchi@gmail.com

Abstract— Zakat is one of the most fundamental obligations in Islamic religion. The obligation of zakat is unanimously agreed upon all schools of jurisprudence. But, these schools hold distinctly different opinions on various subjects of zakat. Indeed, there are differences of opinion concerning the amount that constitutes Nissab, categories of wealth, the rate of Zakat that applies to each category, etc. However, one of the Zakat issues is how to calculate the amount owed to pay. Indeed, the calculation of Zakat demands serious consideration and is often the subject of great discussion. Moreover, the increasing number of new wealth procurement modes in the modern world makes the calculations even more complicated. To address these issues, several Zakat calculation platforms (ZCP) were developed and each of them has distinct functions and limitations. One of the key aims of these platforms is to support Muslims in calculating their Zakat easily, quickly and accurately. But, as time change, technologies advance, organization change, etc., these platforms must be replaced with the modern technology. Hence, it is important to have a model for developing a ZCP. This paper provides a general overview of different existing ZCP. Then, we analyze some existing approaches enabling to develop such platforms. The analysis also provides limitations of each approach to evaluate whether they fulfil the zakat calculation requirements. We emphasize our proposal approach for generation of a met-model to develop a ZCP. This meta-model is based on the ADM (Architecture Driven Modernization) approach and aims to modernize the existing ZCP.

Keywords—ZCP, ADM, MDA, Meta-model, Zakat.

I. INTRODUCTION

Zakat is one of the five pillars of Islam [1]. It can be used to improve the social situation of the Muslims, particularly of the poor. In Islam, wealth, property and material possessions are considered one of the blessings of God [2]. All possessions can be classified into either Zakatable or Non-zakatable wealth. For the purpose of Zakat calculation, Muslim scholars have established five categories of zakatable wealth [3]. Each type is subject to different conditions, rates and rules. Moreover, the scholars divide the Zakatable assets into two categories viz; the unanimously agreed zakatable assets and the non-unanimously agreed zakatable assets [4]. Furthermore, the scholars, both classical and contemporary, formulated

many views, opinions and rules about subjecting items of wealth and income to Zakat [5]. Indeed, Zakat was originally due on gold and silver, agricultural produce, livestock, minerals, and buried treasure [6]. However, contemporary Islamic jurists have extrapolated zakat on other assets through analogy. The use of this analogy opens doors to the multiple different views and conflicts between Muslim scholars and these conflicts clearly appear especially when we want to calculate the amount of Zakat. Hence, how to calculate correctly the amount owed to pay is one of the major issues in the field of Zakat. Indeed, the calculation of amount of zakat has become unclear to many Muslims. Moreover, most Muslims nowadays ignored this pillar and do not have any knowledge on zakat. To address above issues, several zakat calculation platforms were developed. One of the key aims of these platforms is to support Muslims in calculating their Zakat easily, correctly, quickly and accurately. This multitude of platforms, although it has advantages, it also presents a number of disadvantages viz; most of them do not meet the new requirements of portability, reusability and interoperability; most of them are limited to one school of jurisdiction; most of them are poorly implemented with limited calculation categories; most of them are not recommended from any official authority; most of them are basically a Zakat Calculator with no services; etc. To overcome these problems, a new platform should be implemented. The traditional way to modernize a platform is to replace the old one with a new and improved version. A new approach has been proposed by OMG to address this challenge is called ADM (Architecture Driven Modernization). MDA specifies three default viewpoints on a system viz; computation independent model (CIM), platform independent model (PIM) and a platform specific model (PSM)[7]. The basic idea proposed in the MDA approach is to transform an abstract platform independent model (PIM) into a more concrete platform specific model (PSM) in order to generate source code of a new platform. In the opposite aspect point of view ADM is trying to track the models by backwards to discover models from legacy systems[8]. In this paper we suggest a new approach for the generation of a Meta-model for ZCP ensuring scalability and modernization, based on the ADM approach.

The rest of this paper is organized as follows: In section II, we describe detailed analysis of various existing approaches and legacy ZCP. Section IV discusses the proposed approach. Section 5 concludes our work with references at the end.

II. LITERATURE SURVEY

Several Zakat calculation platforms have been developed due to the high demands on such Islamic applications. There are four main categories for such a platform viz; desktop, web, mobile and mobile web applications. These platforms are very useful and helpful to perform property calculations. These types of platforms are a great source for calculating Zakat and widely used in Charity Authorities. However, most of them only focus on specific category of wealth and limited to one school of jurisdiction. Nowadays, the design and the development of platforms impose new requirements as a result of the diversity of technologies with specific characteristics. For that, several approaches have been proposed and used to design and develop the Zakat calculation platforms. However, they do not meet the new requirements that have emerged in the field of software engineering such as portability, reusability and interoperability. Each approach has some limitations and there is no universal efficient solution found yet. In [9], an application that calculates the Zakat for mobile phone users with a GPRS connection has been developed using J2ME technology. This application is based on client-server approach. The server side is just various web pages to get the prices of gold, silver and stocks. On the other hand the Zakat application in the mobile side is very important module since it is what the clients will use. The main functionality in the mobile device side is to allow the client to set the Zakat configuration and to add Zakat items or to list the saved Zakat items. These items will be stored in the record management system (RMS). This platform has been built using the J2ME package which makes it a highly portable application. It is user friendly and the Zakat can easily be calculated at the end of the year on the day the user specifies. Also, it has the ability to obtain online prices for various Zakat items such as gold, silver, and stocks. Moreover, it allows the user to change the school of jurisdiction and year type and can be used in offline mode in case a GPRS connection is not available but in this case the user should provide the required prices. However, this platform was only implemented to calculate the Zakat of money, gold, silver, stocks, fruits, crops and cattle and does not cover other categories of wealth.

Al-Riyami et al. [10], apply expert system technology (ES) in the field of Zakat to assist Muslims in the decision making of identifying the rules of making Zakat and to assist in complex calculations. The Zakat expert system was developed using a freeware rule-based shell called eXpertise2Go that is a web-based expert system. Knowledge that is acquired from a human expert is represented in the form of rules, such as IF-THEN statements. These rules are used by the inference engine component to perform the reasoning process by that lead into achieving certain goals and consequently support decision making. The developed expert system offers the calculation of different types of Zakat, the user has the freedom of choice, either one type or as much as he desires to calculate in an understandable and clear manner. Also, the

system is very useful for calculating Zakat quickly and accurately, very beneficial, relevant, convenient, and easy to use. However, the developed system had some technical and presentation limitations viz; the system does not support the Arabic language, the need for a computer to operate the ES, and the system does not state the source of the information. Also, Mohammad et al. [11] have developed an Expert System (ES) for the domain of Zakat. This ES consists of two main components, namely, knowledge base and inference engine. The knowledge base uses facts to represent knowledge, and the inference engine executes rules upon these facts to provide responses. A user interface is developed to ensure the interactions between users and the ES. A rule is considered as a conditional statement that links given conditions to actions or results. To design this EX, methods KADS (Knowledge Acquisition and Documentation Structuring) and development tools Jess (Java expert system shells) has been used. This ES will be very helpful in calculating Zakat. By asking the user some questions about his wealth the system calculates the amount of Zakat that she should pay. However, the system is not user friendly and also is not able to answer to questions of all Muslims belonging to different Islamic schools.

According to [12], the most common disadvantage cited for expert systems in the academic literature is the knowledge acquisition problem. However, when looking at the life-cycle of expert systems in actual use other problems seem at least as critical as knowledge acquisition. These problems were integration, access to large databases, and performance.

Harun et al. [13] have proposed an ontology-based approach for developing the zakat management system. This ontology has been developed using METHONTOLOGY. The METHONTOLOGY guides in how to carry out the whole ontology development through the specification, the conceptualization, the formalization, the implementation and the maintenance of the ontology. The ontology proposed has been implemented in OWL, since it has been modeled with the Protégé tool. For developing this ontology, they have involved for major activities viz; literature review, data collection and preparation, domain analysis and modeling and ontology Development. The zakat management ontology is composed of several anthologies at different levels of abstraction viz; application, collection, distribution, documents and users. This Ontology is designed for interoperability of systems and will make the process of understanding and developing the Zakat Management System faster. It aimed specifically to share the knowledge of zakat, to help each person who is involved in the development of this system, to bind the different communities in the software development to overcome barriers created by disparate vocabularies, approaches, representations, and tools in their respective contexts, to be used as a basis for software specification and development, and to bridge the gap between domain analysis and application system construction. However, it does not cover all types of wealth.

Abdul Hamid et Kasirun [14] have been developed Islamic asset management system using object-oriented approach. This system was developed using Rational Unified Process (RUP) model and is being implemented using PHP language and MySQL database. The main function of zakat module is to

calculate zakat. Zakat is divided into six categories, which is zakat on income, zakat on business, zakat on share, zakat on saving, zakat on gold and silver and zakat on EPF. Usability test and software metrics measurement were done to ensure the system usability and system metrics in terms of reusability and complexity. The system is capable of managing user's personal Islamic asset such as zakat. In addition, the system gives detailed information about these assets including various functions and calculator to calculate zakat. The object-oriented software engineering approach focuses on concept of reuse, quality, iterative development and risk management. However, it does not support portability. Moreover, the developed system does not cover all types of Zakat.

Fenty et al. [15] have proposed to apply mobile application development life cycle approach (MADLC-Approach) in the development of Zakat Al-Maal mobile web application using JQuery mobile framework. JQuery Mobile is a development platform of JQuery, which provides a variety of user-interface elements and features for use in mobile applications such as: Android, Blackberry OS6, Fannec (Mozilla), WebOS from HP (Palm), iOS (iPhone, iPod Touch, and iPad), as well as Opera Mobile. The MADLC includes seven phases viz; identification, design, development, prototyping, testing, deployment and maintenance phase. This mobile web application can help users to calculate the amount of zakat that should be issued, in the form of zakat per unit amount of the type of property and the calculation of the total amount of all assets owned. Value price of zakat is updated automatically. Users will also receive an e-mail notification containing the amount of zakat that should be issued along with a list of any assets that have been entered such as nissab and haul. It can be accessed by any platform and delivers speed, stability, and an excellent cross-browser experience for web mobile visitor. However, it is limited to one school of jurisprudence and does not cover all categories of wealth.

Noorul et al. [16] have developed Muslim Android Application for Zakat Selangor (MAAZS) using agile development approach. The Mobile application development process comprises five phases viz; analyze, design, development, certify, deploy and maintenance phase. The application of agile development approach provides a good fit and more iterative for mobile application development, which includes the client throughout the development of their system. Adopt the agile methodology to develop software that provides user with an accelerated delivery cycle and the flexibility to change requirements according to changing business needs. This platform is developed using Rational Unified Process (RUP) model and is being implemented using PHP, JQuery language and MySQL database. Usability test and software metrics measurement were done to ensure the system's usability and metrics in terms of reusability and complexity. This application provides a calculator to ease the users in calculating various type of zakat easily and effectively without hassle. Its architecture is designed to simplify the reuse of components. It not only has the ability to calculate zakat but also the ability to produce user's status either the user is eligible to pay zakat, not eligible to pay or qualified to receive zakat. This platform is useful for Muslims users as it

combine the zakat information, zakat calculation, "Skim berkat" which is zakat monthly deduction, fidyah and kifayah calculation in one application. However, it is developed especially for Selangor Residents and does not cover all types of Zakat.

Ahmad et al. [17] have proposed the requirements analysis approach using the activity theory for android application development. The requirements are then used to develop a zakat application that is based on android platform. Activity theory is a conceptual framework that focuses on the activity, where the interaction between actors and their surroundings are counted. The benefit of using activity theory for android application development is, we can see the interaction between the user (subject), community and the environment in order to accomplish certain activity and they are mediated by mobile technologies. The applied activity theory includes nine steps viz; identify problems, identify actions and operations of the activity and Model the activity using Engeström's diagram. The latter consists of six essential elements, namely, subject, object, tools, rules, community and division of labor. Basically, an activity theory helps to structure the analysis. However, it does not prescribe what to look for. Moreover, this platform does not cover all schools of jurisprudence.

Imam et Usman [18] have developed Zakat Calculation Information System using Waterfall model. This model is done in a systematic and sequential approach starting from system level requirements and then headed to the stage of the analysis, design, coding, and implementation. This application has been developed using the programming language JAVA. This platform is developed to help the community in general and in particular the users of Android-based Smartphone in terms of calculating zakat including zakat Al-Fitr and zakat Al-Mal. However, this platform is limited to one school of jurisprudence and does not cover all types of wealth.

Atunnisa et al. [19] have developed a zakat calculation application using prototype method. A prototype display main functional capabilities of the proposed system. The process of prototyping involves six steps viz; Requirements gathering, Quick design, Building prototype, Customer evaluation, Refining prototype and Engineer product. Prototyping is an attractive idea for complicated and large systems for which there is no manual process or existing system to help determining the requirements. However, the prototype model is usually not complete and many of the details are not built in this prototype. Moreover, the developed system does not cover all types of wealth.

The most existing ZCP are developed in traditional manner. The most of them have lack of portability, reusability and interoperability. To overcome these drawbacks a new ZCP have been developed to fulfil the Zakat calculation requirements. Moreover, the vast majority of them are designed for specific categories of wealth and limited to one school of jurisdiction. In Table I, a summary of existing ZCP approaches with their strengths and limitations are given. And in Table II below, we provide an analytical study of above platforms in tabular format.

Table 1 Summary of existing zakat calculation platforms

Reference	Approach used	Technology used	Multi-platforms	Multi-languages	Cover all currencies	Cover all categories	Cover all schools	Cover all years types	Provide online prices	Provide Full & Partial calculation	Characteristics / Advantages	Limitations / Challenges
[6]	Client-Server	J2ME GPRS RMS					√	√	√	√	Provides online prices of Gold and Silver Covers all schools and years types Can be used offline or online Provides full and partial zakat calculation	Limited to Mobile phone users and does not cover all types of wealth
[33]	Expert System	EXpertis e2Go JESS								√	Easy to use Calculate zakat quickly; There is no need for an internet connection; Provide full and partial zakat calculation	Poor user interface design. It requires a computer, and does not include all types of wealth.
[30]	Object Oriented	RUP PHP MySQL UML	√							√	Provide a framework that supports reuse and extensibility. Ease of use Multiplatform Provide full and partial zakat calculation	Limited to the Klang Valley, exclude Islamic banking, and limited to Windows and Linux users
[35]	MADC-approach	HTML5 UML Jquery.m obile	√								It can be accessed by any platform (Multi-platform) It can send a notification e-mail to users	Limited to one school and does not include all types of wealth.
[36]	Agile Methodology	RUP PHP JQuery UML MySQL	√								Can be run on the android platform and Smartphone devices. Reuse of components Produce user's status	Limited to Selangor Residents, does not cover all types of wealth, and limited to mobile users
[38]	Waterfall model	JAVA Eclipse UML									Include zakat Al-Fitr and zakat Al-Mal	Limited to one school and does not cover all types of wealth
[37]	Activity theory	Engeström Android									Allow to find the nearest zakat counter	Limited to Malay language and to Android users

I. APPROACH PROPOSED

The architecture of proposed approach is depicted in figure 2 which is divided into three main phases viz; General PIM generation, modernization of General PIM obtained, and a new improved ZCP generation. These activities are in accordance with the three stages defined by the ADM approach that is, reverse engineering, restructuring, and forward engineering. In this architecture, the first phase aims to generate an abstract model « General PIM » using reverse engineering. The second phase aims to modernize the General PIM obtained during the first phase using restructuring engineering. The third phase aims to generate a new improved ZCP USING FORWARD ENGINEERING. The elaborations of these three phases are discussed in detail in the subsequent paragraphs.

Phase 1: General PIM generation

We use the proposal of [20] to generate the PSM and PIM of each legacy ZCP Database aforementioned in the table II. In [20] the authors have proposed a process which takes a legacy relational database as its input and transform it into a PSM model, according to the SQL-92 Meta-model [21], by means of reverse engineering. The PSM obtained is then transformed into a PIM model, which raises the abstraction level of the system to the business requirement level, independently of the technology used. The PIM model is depicted by using the UML2 Meta-model [22]. The result of this process is the PIM of each legacy ZCP database. These PIM models will be the basis for generating our PIM general. For that, we use the proposal of [23] for generating the General PIM.

Table 2 Summary of existing approaches in zakat field

References	Approaches	Advantages	Limitations
Abdul Hamid et Kasirun [14]	Object-oriented	Reusability and faster development Improved Reliability and Flexibility	It is not feasible on large projects with frequent requirement specification changes Larger program size
Imam et Usman [18]	Waterfall model	It is simple to use and understand It is feasible on small projects	Difficulty responding to changes Never backward
Noorul et al.[16]	Agile Methodology	Adaptive and cooperative Easy to understand and modify	It is more difficult for larger teams It has a strong emphasis on customer involvement.
Huraimel et al. [9]	Client-Server	Quickly and easily change business logic procedures without changing the client program. It is easy to design and implement.	Problem of traffic congestion If one server fail, requests cannot be served
Al-Riyami et al. [10] and Mohammad et al. [11]	Expert System	It improves decision making process, quality and time. The error rate of successful systems is low	Errors may occur in the knowledge base, and lead to wrong decisions Limitations of the technology
Harun et al. [13]	Ontology	It helps to define and understand the concepts and their definitions easily. Improve reusability and interoperability	Extra time and human resources are necessary Difficulties on validation by domain engineers
Fenty et al. [15]	Mobile Application Development Life Cycle	It allows to create a mobile application rapidly It is easy to refer back to the process and rectify the app if any errors are reported	Limited to Mobile Applications
Ahmad et al. [17]	Activity theory	It overcomes the limitations of traditional task analysis methods It provides a worthwhile framework for understanding the field of study	Limited to requirements analysis Time is very hard to handle in Activity Theory
Atunnisa et al. [19]	Prototype model	Users are actively involved in the development of the system It allows to develop quickly a simple prototype and to give more requirements of the system	The prototype is usually not complete and many of the details are not built in the prototype The effort invested in building prototypes may be too much if not monitored properly

In [23] the authors have proposed to integrate the common features of all PIM obtained in a common model. The result of this process is General PIM (Meta-model).

Phase 2: Modernization of the MIP General

The restructuring phase allows generating a new vision of the General PIM model. In this phase, we introduce the new requirements into the General PIM obtained in the end of the first phase. The result of this phase is a new PIM model.

Phase 3: A new improved ZCP generation

During this phase, we use the obtainable improved General PIM from the second phase for generating a new ZCP source code with a new architecture and new features using forward engineering. For that, we define transformation rules to transform this obtained general PIM to Target PIM. The result of this transformation is a model that we can use for a targeted school and wealth type. The second transformation (Target PIM to Target PSM), transform the obtained PIM to a PSM that targets the Java EE platform. This model will be defined by using UML profile. The third transformation (Target PSM to Text) aims to generate ZCP Java code.

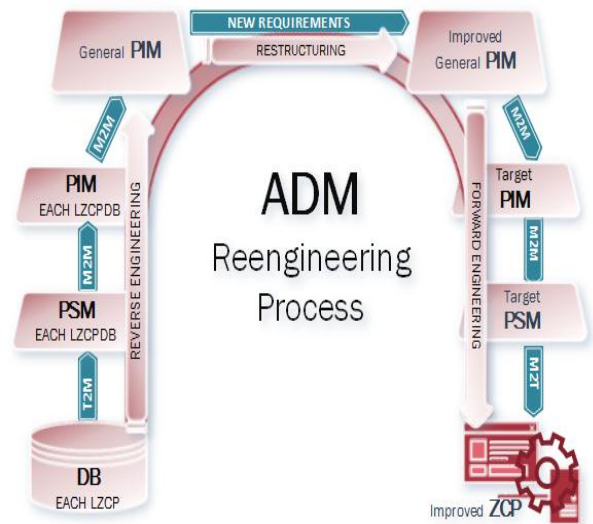


Fig. 1. Processes of the proposed approach

II. CONCLUSION

Zakat calculation platform form a necessary tool and play a crucial role in Muslims life. In this paper, we analyzed the different existing Zakat Calculation Platforms (ZCP) this analysis shows that although multiple ZCP using different approaches have already been proposed which help in calculating the amount owed to pay. However, they do not provide complete requirements of Zakat calculation. We identified nine main groups of ZCP development approaches viz; approach-based on expert system technology, approach-based on client-server, approach-based on ontology, approach-based on object-oriented, approach-based on Agile Methodology, approach-based on prototype model, approach-based on activity theory, approach-based on mobile application development life cycle and approach-based on Waterfall Model. Each of these approaches has some limitations. To overcome these limitations, we proposed a new approach based on ADM for the generation of a meta-model modernized in order to ensure scalability and modernization of these platforms. The proposed process is divided into three main phases viz; the first phase uses reverse engineering to generate a General PIM. The second phase uses the restructuring engineering to modernize the General PIM obtained during the first phase. The result of this phase is what we call the Meta-model. The third phase uses forward engineering to generate a new improved ZCP.

In our future work, we are planning to design our Meta-model that will be the basis of our framework in order to implement a new modernized ZCP.

REFERENCES

- [1] J. FUADAH, A. F. M. ALI, and M. R. A. AZIZ, 'A Review of Literatures on Current Zakat Issues: An Analysis between 2003 - 2013', *International Review of Research in Emerging Markets and the Global Economy (IRREM) An Online International Research Journal (ISSN: 2311-3200) 2015 Vol: 1 Issue 2*.
- [2] A. G. Ismail, T. Achmad, and M. A. J. Ahmad, 'Debate on Policy Issues in the Field of Zakat on Islamic Bank Business', Nov. 2013.
- [3] The Zakat Foundation of America, 'Th Zakat hand book a practical guide for Muslims in the West'. Prosody LLC—A Writing Company, United States of America, 2007.
- [4] Z. Hamat, 'Sustainable Zakat Accounting in Malaysia: An Analysis', *Mediterr. J. Soc. Sci.*, Aug. 2014.
- [5] K. Monzer, 'Zakah'.
- [6] Y. Al-Qardawi, 'Fiqh az-Zakat: A comparative study', *Dar Al-Tawwa Ltd Lond.*, vol. 407, 1999.
- [7] F. Truyen, 'The Fast Guide to Model Driven Architecture The Basics of Model Driven Architecture', *Cephas Consult. Corp*, 2006.
- [8] E. Kajan, *Handbook of Research on E-Business Standards and Protocols: Documents, Data and Advanced Web Technologies*. 2012.
- [9] 'Islamic Zakah Application for Mobile Devices', presented at the The 3rd International Conference on Information Technology ICIT 2007, AL-Zaytoonah University, Amman, Jordan, 2007.
- [10] A. Al-Riyami, A. A.-H. K. Al-Amri, and K. A. Al-Busaidi, 'Zakat Expert System', *Vol. One*, p. 31, 2014.
- [11] A. Mohammad, A. Ahmad, H. Hassan, S. Rashid, and Z. Maamar, 'Design and Development of a Zakat Expert System', presented at the The 3rd Annual Undergraduate Research Conference on Applied Computing (URC 2011), DUBAI, UNITED ARAB EMIRATES, 2011, p. 35.
- [12] M. Ukaibe, S. Kuyoro, A. Franklyn, and O. Babajide, 'Overview of Knowledge-Based System', *International Journal of Computer & Communication Engineering Research (IJCCER)*, 03-May-2014.
- [13] H. Harun, N. Nordin, and A. Hussain, 'Ontology of Zakat Management System'.
- [14] N. F. I. Abdul Hamid and Z. M. Kasirun, 'PERISA: A PERSONAL ISLAMIC ASSET MANAGEMENT SYSTEM USING OBJECT-ORIENTED APPROACH', presented at the Proceeding of the 2nd International Conference on Informatics, Hilton Petaling Jaya Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia, 2007, pp. 37–42.
- [15] E. M. A. Fenty, K. Hulliyah, and M. Ekafitri, 'Applying mobile application development life cycle in the development of Zakat maal mobile web application using JQuery mobile framework', in *Cyber and IT Service Management (CITSM), 2014 International Conference on*, 2014, pp. 89–92.
- [16] Noorul, Izzathol, and Akhbarie, 'Muslim Android Application for Zakat Selangor (MAAZS)', Kuala Lumpur, Malaysia, 2013.
- [17] N. A. N. Ahmad, N. I. Akhbariee, and M. Hafizuddeen, 'Requirements analysis of android application using activity theory: A case study', in *Information and Communication Technology (ICOICT), 2013 International Conference of*, 2013, pp. 145–149.
- [18] H. F. IMAM and S. Usman, 'SISTEM INFORMASI PERHITUNGAN ZAKAT BERBASIS ANDROID', *Skripsi Fak. Ilmu Komput.*, 2015.
- [19] R. Atunnisa, E. Satria, and R. Cahyana, 'PENGEMBANGAN APLIKASI ZAKAT BERBASIS ANDROID MENGGUNAKAN METODE PROTOTYPE', *J. Algoritma*, vol. 11, no. 1, 2015.
- [20] R. Pérez-Castillo, I. García-Rodríguez de Guzmán, I. Caballero, and M. Piattini, 'Software modernization by recovering Web services from legacy databases: SOFTWARE MODERNIZATION BY RECOVERING WEB SERVICES FROM LEGACY DATABASES', *J. Softw. Evol. Process*, vol. 25, no. 5, pp. 507–533, May 2013.
- [21] 'ISO/IEC 9075:1992 - Information technology -- Database languages - - SQL'. [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=16663. [Accessed: 02-Mar-2016].
- [22] O. M. G., *Unified Modeling Language: Superstructure version 2.0*. 2007.
- [23] A. Khamal, Y. Boukouchi, A. Marzak, and H. Moutachaouik, Eds., '2014 Fifth International Conference on Next Generation Networks and Services (NGNS 2014)', Casablanca, Morocco, 2014.

Session 6

Simulation et Modélisation des Systèmes Complexes

Modélisation de l'écoulement d'un fluide "visqueux pur" dans une filière plate par la méthode des éléments finis spectraux isoparamétriques

M. EL OUMAMI, O. BOUKSOUR, A. TIZLIOUINE,
K. ZARBANE

Laboratoire de Mécanique Productive & Génie Industriel
(LMPGI), Université Hassan II de Casablanca,
Ecole Supérieure de Technologie, km 7 Route El Jadida,
Casablanca. Maroc

Résumé : Le problème étudié concerne la modélisation d'un écoulement d'extrusion d'une filière de section rectangulaire pour un fluide Newtonien Généralisé. Le travail présenté est en rapport avec le problème académique d'étude d'un écoulement à surface libre, et avec les procédés de mise en forme par extrusion. Le phénomène de gonflement pour un fluide "visqueux pur" est examiné en considérant l'influence de différents facteurs (en l'absence des effets de tension superficielle) notamment l'indice du comportement du fluide, ainsi que le nombre de Reynolds. Un modèle numérique utilisant la méthode des éléments finis spectraux iso paramétriques, basé sur l'utilisation des polynômes de Tchebychev est mis au point selon la technique de pénalisation de la pression, permettant ainsi, de réduire le nombre de degrés de liberté.

Mots clés : Modélisation, Navier-Stokes, Fluide, Newtonien Généralisé, visqueux pur, Extrusion, Surface libre, Polynômes de Tchebychev, Pénalisation, Eléments finis spectraux

I. INTRODUCTION

Depuis quelques années le phénomène du gonflement en sortie de filière d'un polymère, a suscité un intérêt croissant dans le milieu scientifique, il s'est concrétisé par des modélisations numériques diverses, généralement appliqués à des géométries simples (filière cylindrique ou plate). Les différentes méthodes proposées se trouvent confrontées à trois difficultés majeures : Le non linéarité du problème liée à la surface libre, La singularité au point de raccordement paroi-surface libre et La loi du comportement du fluide (généralement non linéaires pour les fluides non Newtonien). Essentiellement trois types de méthodes sont utilisés pour la résolution du problème : Méthode des éléments finis [1,23], Méthode des éléments frontières [2] et Méthodes de différences finies [3]. Dans le cadre de cette étude, on s'intéresse à la détermination de la forme de la surface libre résultant du gonflement d'un fluide Newtonien généralisé à travers une filière plate rectangulaire pour un écoulement bidimensionnel, en configuration isotherme. On supposera que la tension superficielle est négligeable et que l'écoulement dans la filière est établi, et loin l'aval, Le fluide a dans son ensemble un déplacement solide. A la paroi on supposera que la condition d'adhérence

du fluide est satisfaite. La valeur du taux de gonflement est très variable, il est de l'ordre de 12-13% pour un fluide Newtonien à travers une filière cylindrique et de l'ordre de 19-20% pour une filière plate rectangulaire. Il peut atteindre des valeurs de près de 400% ou plus pour certains matériaux. La prédiction du taux de gonflement est très importante dans une gamme de procédés industriels tels que l'impression à jet d'encre, moulage par extrusion ou revêtement de câble. Notre démarche consiste à faire une simulation numérique du problème du gonflement à travers une filière pour un fluide dont la loi de comportement de type loi de puissance ou d'Oswald-de Waele. La simulation numérique est basée sur l'utilisation des éléments finis spectraux isoparamétriques dont une grande partie de leurs succès vient de leur haute précision, vu que que l'erreur décroît rapidement de façon exponentielle [4,5,6,20,21], qui grâce au développement gigantesque des moyens informatique, s'avère un atout de plus en plus important dans la simulation numérique. A cette simulation numérique, on associe la méthode de pénalisation afin d'approcher la condition d'incompressibilité. Cette méthode a été proposée par Temam [11] en 1984 où il est démontré que la solution de l'équation de Stokes stationnaire pénalisée converge fortement vers la solution de l'équation de Stokes stationnaire. De plus, des estimations de l'erreur sont de l'ordre de ε (ε paramètre de pénalisation) sont obtenues par Christine Bernadi [12]. Le choix du paramètre de pénalité est largement dictée par le rapport de l'ampleur des termes de pénalité aux termes visqueux et convectifs (ou par rapport au nombre de Reynolds, Re), le maillage, et la précision de l'ordinateur.

II. Formulation

A. Equations du mouvement du fluide

On s'intéresse à la détermination de la surface libre résultant du gonflement d'un fluide Newtonien incompressible à travers une filière plate rectangulaire en configuration isotherme. On considère un écoulement permanent symétrique. Les équations gouvernant un tel écoulement dans le cas bidimensionnel s'écrivent :

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial T_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial T_{yx}}{\partial y} - \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0 \quad (1.a)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial T_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial T_{yy}}{\partial y} - \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.a)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3.a)$$

Où

$$T_{xx} = 2\mu(I_2) \frac{\partial u}{\partial x}, \quad (4.a) \quad T_{xy} = \mu(I_2) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \quad (4.b)$$

$$I_2 = \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]$$

$$\mu(I_2) = K_0 (I_2)^{\frac{(k-1)}{2}}$$

Notations :

$\mathbf{u}=(u,v)$ étant le vecteur vitesse, p est la pression, ρ est la masse volumique, μ est la viscosité dynamique, k est l'indice du fluide et K_0 est la consistance. Pour les conditions aux limites (voir Fig.1)

T_t : contrainte tangentielle, T_n : contrainte normale, $h(x)$: courbe de la surface libre

$$u(-L1,0)=u(-L1,0) = \frac{2k+1}{k+1} \left(h_0 - \left(\frac{y}{h_0} \right)^{(1+k^{-1})} \right),$$

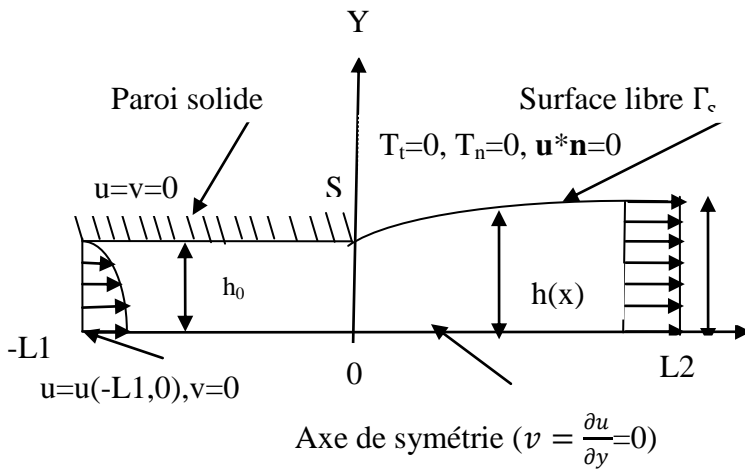


Fig. 1 : Conditions aux limites associées au problème de gonflement

B. Approximation variationnelle du problème

La méthode d'approximation variationnelle associée à la formulation variationnelle abstraite nous conduit à chercher u , v , p et h dans un espace de dimension fini tel que :

$$u = \sum_{i=0}^N v_i \varphi_i$$

$$p = \sum_{i=0}^M p_i \Psi_i$$

$$u = \sum_{i=0}^N u_i \varphi_i$$

$$h = \sum_{i=0}^{Ns} h_i \phi_i$$

$$(u, v) \in Y_h \times Y_h, p \in M_h$$

Où

Soit Ω un ouvert borné de frontière $\partial\Omega$. En passant à la formulation variationnelle.

La solution du problème revient à trouver :

$$(u, v) \in H_0^1(\Omega) \times H_0^1(\Omega) \text{ et } p \in L_0^2(\Omega). \text{ Tel que :}$$

$$\int_{\Omega} [(-p + T_{xx}) \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + (-p + T_{xy}) \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} + \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) \varphi_i] d\Omega + \int_{\partial\Omega} \bar{t}_x \varphi_i d\Gamma \quad (2.a)$$

$$h_f \int_{\Omega} [(-p + T_{yy}) \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} + (-p + T_{xy}) \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) \varphi_i] d\Omega + \int_{\partial\Omega} \bar{t}_y \varphi_i d\Gamma \quad (2.b)$$

$$\forall \varphi_i \in H_0^1(\Omega)$$

$$\int_{\Omega} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \Psi_i d\Omega = 0 \quad (2. c)$$

$\forall \in \Psi L_0^2(\Omega)$ où

$$L_0^2(\Omega) = \{ \in \int_{\Omega} \Psi dx = 0 \},$$

$$H_0^1(\Omega) = \{ \varphi \in \varphi L^2(\Omega), \varphi|_{\partial\Omega} = 0 \}$$

où \mathbf{n} (n_x, n_y) les coordonnées du vecteur normale à la surface libre.

\bar{t}_x, \bar{t}_y sont les composantes des termes frontières.

Sur la surface libre on a :

$$(n_x u + n_y v) = 0 \quad (4. d)$$

où \mathbf{n} (n_x, n_y) les coordonnées du vecteur normale à la surface libre

L'approximation sur chaque élément de référence qui est le carré $[-1,1] \times [-1,1]$, est un polynôme $P_N(\Omega_k)$. résultant du produit tensoriel, $P_{N_x} \otimes P_{N_y}$ c'est-à-dire un polynôme de degré inférieur à N_x en x et de degré inférieur N_y en y . Par utilisation des éléments finis spectraux isoparamétriques, cela nous permet de passer de l'élément physique à l'élément de référence, on notant :

$$x = \sum_{i,j=0}^{N_x, N_y} x_{ij} L_i(\xi) L_j(\eta), \quad (5)$$

$$y = \sum_{i,j=0}^{N_x, N_y} y_{ij} L_i(\xi) L_j(\eta) \quad (6)$$

où $N_x = N_y$

Les nœuds d'interpolation dans le carré de référence sont définie par :

$$\xi_i = -\cos\left(\frac{\pi i}{N_x}\right) \text{ et } \eta_j = -\cos\left(\frac{\pi j}{N_y}\right), L_i(\xi_j) = \delta_{ij} \quad (6)$$

où $0 \leq i \leq N_x, 0 \leq j \leq N_y$

$$\text{Soient } L_0^2(\Omega) = \{ q \in L^2(\Omega), \int_{\Omega} q dx = 0 \},$$

$$Y_h = \{ v \mid v|_{\Omega_k} \in P_N(\Omega_k) \},$$

$$M_h = \{ q \mid q|_{\Omega_k} \in P_{N-2}(\Omega_k) \}$$

$$X_h = Y_h \cap H_1^0(\Omega),$$

$$\Omega = \cup \Omega_k$$

Pour que le système discret soit bien posé, les espaces de vitesse et de pression doivent vérifier une condition de compatibilité, appelé condition Inf-Sup [15,16] qui a été à l'origine formulé par Brezzi [14]. Une manière de résoudre cette difficulté est de proposer des espaces polynomiaux compatibles de type : $P_N - P_{N-2}$ (P_N pour la vitesse et P_{N-2} pour la pression) dont l'analyse numérique est la mise en œuvre ont été réalisés Ronquist [19], Azeif [18] et Mady et al [17]. La condition Inf-Sup est vérifiée en prenant pour la pression des polynômes de degré moins élevé de deux unités que ceux approchant la vitesse.

$$\varphi_i \in P_N(\Omega_k), \Psi_i \in P_{N-2}(\Omega_k)$$

$$u = \sum_{i,j=0}^{N_x, N_y} u_{ij} L_i(\xi) L_j(\eta), \quad (7. a)$$

$$v = \sum_{i,j=0}^{N_x, N_y} v_{ij} L_i(\xi) L_j(\eta) \quad (7. b)$$

$$p = \sum_{i,j=0}^{M_x, M_y} p_{ij} h_i(\xi) h_j(\eta), \quad (7. c)$$

$$h = \sum_{i=0}^{N_s} z_i L_i(\xi) \quad (8)$$

Après avoir discrétiser le système et en tenant compte des expressions de u, v et p , on obtient :

$$A_{ij} U_j + C_{ij} V_j + D_{in} P_n + \rho (IX_{ijk} U_j + IY_{ijk} V_j) U_k = X_i \quad (9.a)$$

$$C_{ji} U_i + B_{ij} V_i + E_{in} P_n + \rho (IX_{ijk} U_j + IY_{ijk} V_j) V_k = Y_i \quad (9.b)$$

$$D_{jn} U_j + E_{jn} V_j = 0 \quad (9.c)$$

Où

$$A_{ij} = \int_{\Omega_k} [2\mu(I_2) \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial x} \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} \right) + \mu(I_2) \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \frac{\partial \varphi_j}{\partial y} \right)] dx dy \quad (10. a)$$

$$B_{ij} = \int_{\Omega_k} [\mu(I_2) \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial x} \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} \right) + 2\mu(I_2) \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \frac{\partial \varphi_j}{\partial y} \right)] dx dy \quad (10. b)$$

$$C_{ij} = \int_{\Omega_k} [\mu(I_2) \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} \right)] dx dy \quad (10. c)$$

$$D_{in} = - \int_{\Omega_k} \Psi_n \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial x} \right) dx dy \quad (10. d)$$

$$E_{in} = - \int_{\Omega_k} \Psi_n \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \right) dx dy \quad (10. e)$$

$$X_i = \int_{\partial \Omega_k} \bar{t}_x \varphi_i d\Gamma \quad (10. f)$$

$$Y_i = \int_{\partial \Omega_k} \bar{t}_y \varphi_i d\Gamma \quad (10. g)$$

$$IX_{ijk} = \int_{\Omega_k} \varphi_i \varphi_j \left(\frac{\partial \varphi_k}{\partial x} \right) dx dy \quad (10. h)$$

$$IY_{ijk} = \int_{\Omega_k} \varphi_i \varphi_j \left(\frac{\partial \varphi_k}{\partial y} \right) dx dy \quad (10. i)$$

La résolution du système précédent se fait avec la méthode de Newton Raphson en intégrant les conditions aux limites de la Fig.1

II. MÉTHODE DE RÉOLUTION PAR PÉNALISATION [8, 9,10]

La matrice associée au problème précédent (9) n'est pas définie positive, de plus une grande taille. Une méthode simple permettant de réduire le nombre d'inconnues, et par la suite découpler la pression du vecteur vitesse est d'avoir recours à la méthode de pénalisation de la pression. On

perturbe la condition d'incompressibilité du fluide en rajoutant le vecteur dans l'équation (9.c) qui devient :

$$D_{jn} U_j + E_{jn} V_j - \epsilon P_n, I_n \text{ représente la matrice unité}$$

Où ϵ est un paramètre très petit (en général de 10^{-2} à 10^{-8}) dont la valeur optimale varie en fonction de la géométrie du maillage, du degré d'approximation et la raideur de la solution. Il est d'ailleurs plus efficace de remplacer par où

est l'aire du support de l'élément [10]. On peut montrer que l'erreur commise entre la solution du système pénalisé

$\begin{pmatrix} u_\epsilon \\ p_\epsilon \end{pmatrix}$ et la solution du système initiale (sans pénalisation) $\begin{pmatrix} u \\ p \end{pmatrix}$

dépend du conditionnement de la matrice obtenue à partir du système (9), de pour un maillage et et du nombre de Reynolds.

En exprimant la pression à partir de l'équation (9.c), et injectant cette expression dans les équations (9.a) et (9.b) on obtient le système suivant :

$R(U)U=F$ où $R(U)= [A1(U)+K1(U) +G1]$ ou $A1$ et $K1$ sont des matrices qui dépendent de U et $G1$ une matrice indépendante de U

U représente les composantes du vecteur vitesse aux nœuds d'interpolation

Une fois la valeur de U calculée, on déduit le champ de pression à partir de la relation (9.c)

A. Méthode itérative pour le calcul de la surface libre h

En linéarisant le système précédent, on arrive à la relation suivant

$$[A1(\widetilde{U}^{n+1})+K1(\widetilde{\mu}^{n+1})+G1]U=F$$

Où \widetilde{U}^{n+1} et $\widetilde{\mu}^{n+1}$ sont des estimés de U et de μ à l'itération précédente tel que :

$$\widetilde{U}^{n+1} = \beta U^n + (1 - \beta) U^{n-1}$$

$$\mu^{n+1} = K(I_2(\widetilde{U}^{n+1})) \frac{(k-1)}{2}$$

n : indique l'itération et est un paramètre de relaxation qui permet l'accélération de la convergence du processus itératif

Intégration numérique de la condition cinématique

Au niveau de la surface libre la composante verticale de la vitesse est nulle. Cette condition cinématique est exprimée par :

$$u^* n_x + v^* n_y = 0, \quad (11)$$

La relation(11) exprime que la surface libre est une ligne de courant. Si h est la fonction définissant la surface libre, alors :

$$h'(x) = \frac{v}{u} = - \frac{n_x}{n_y}$$

Où $h'(x)$ désigne la dérivée de $h(x)$

Au point S0 de raccordement paroi surface libre, la vitesse est par définition nulle, l'indétermination du rapport v/u est levée en employant la règle de l'Hôpital en ce point. On obtient alors :

$$\frac{\frac{\partial v}{\partial x}(x_0)}{\frac{\partial u}{\partial x}(x_0)} = h'(x_0)$$

Connaissant h à l'étape n, l'intégration de la relation $h'(x) = \frac{v}{u}$

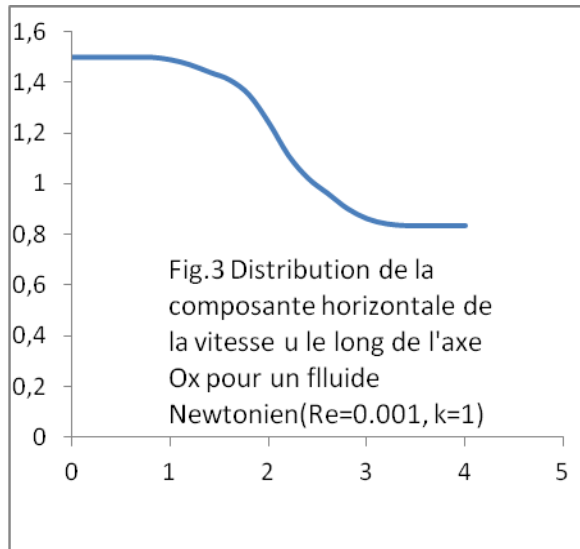
Nous permet de calculer h à l'étape n+1, ce qui procure :

$$h^{n+1}(x_i) = h^{n+1}(x_{i-1}) + \int_{x_{i-1}}^{x_i} \left(\frac{\widetilde{v}_s}{\widetilde{u}_s}\right)^{n+1} dx$$

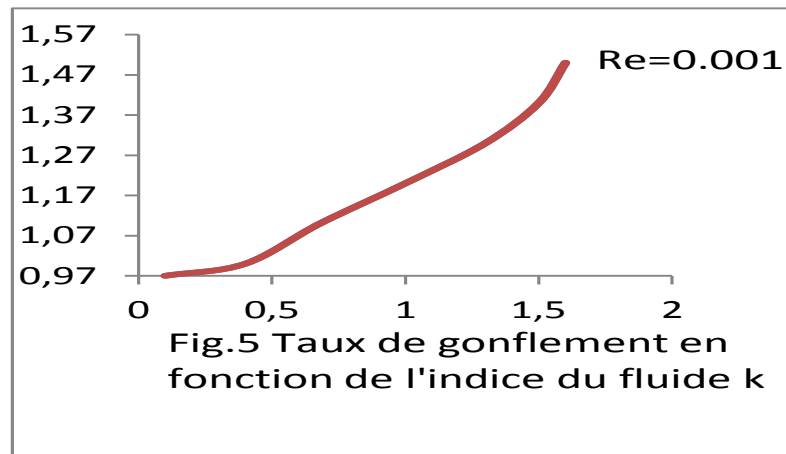
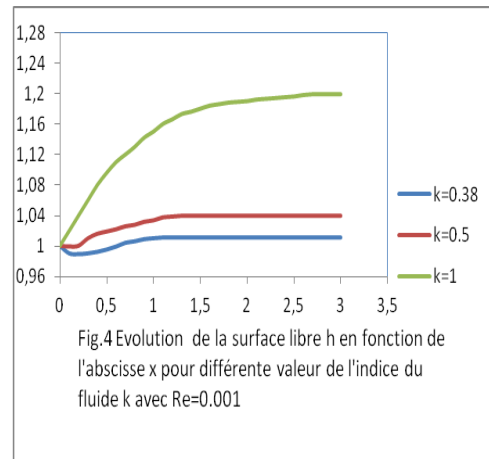
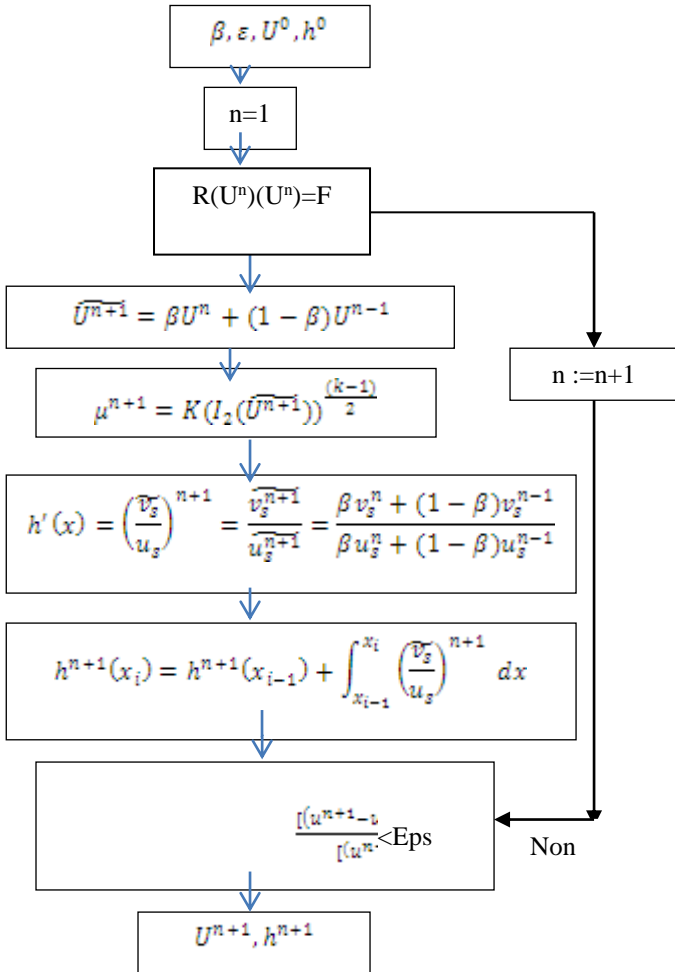
Où

$$\left(\frac{\widetilde{v}_s}{\widetilde{u}_s}\right)^{n+1} = \frac{\widetilde{v}_s^{n+1}}{\widetilde{u}_s^{n+1}} = \frac{\beta v_s^n + (1-\beta)v_s^{n-1}}{\beta u_s^n + (1-\beta)u_s^{n-1}}$$

$(\widetilde{u}_s^n, \widetilde{v}_s^n)$ est le vecteur vitesse à la surface libre calculé à la n^{ième} itération



Algorithme de résolution



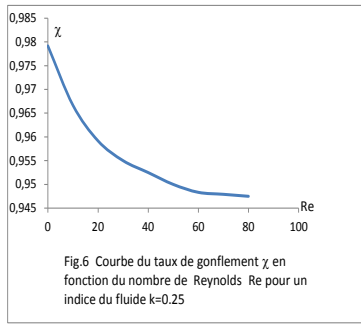


Tableau comparatif (Taux de gonflement χ , $Re=0.001$)
 (*) :E. MITSOULIS [13], (**) : S. Claus [22]
 et (***) : Présent travail

N° du cas	Indice du fluide k	χ *	χ **	χ ***
1	1	1.196	1.199	1.199
2	0.50	1.036	-	1.025
3	0.38	1.003	-	1.00
4	0.25	0.979	-	0.979

II. Résultats et Discussions

Afin que la condition aux limites à l'aval soit vérifiée (déplacement solide du fluide), on doit utiliser une longueur suffisante, le choix de L_2 (Fig.1) dépend principalement de l'importance des forces d'inertie par rapport aux forces visqueuses, donc du nombre de Reynolds, autrement dit la distance L_2 croît avec le nombre de Reynolds, il en résulte de ce fait que le choix du nombre d'éléments, ainsi que le nombre de nœuds par élément en dépend. Pour l'étude que nous avons menée, le nombre d'élément varie entre 5 et 8 et le degré d'approximation par élément varie entre 7 et 10 en x et y (Fig.2). La convergence de l'algorithme est obtenue par sous relaxation avec de plus en plus proche de 1 au fur et à mesure que le nombre de Reynolds augmente, de même le paramètre de pénalisation est inversement proportionnelle au nombre de Reynolds (entre 10^{-6} et 10^{-9}).

Notre étude s'est portée sur la simulation de l'écoulement d'un fluide de type loi de puissance à travers une filière plate rectangulaire dans le cas isotherme. Différent cas ont été étudiés selon l'indice du fluide et le nombre de Reynolds. A l'aide de l'algorithme définie précédemment, dans le cas d'un fluide Newtonien, (indice du comportement du fluide $k=1$), Nos résultats sont en parfait accord avec les résultats obtenus par S. Claus [22] et E. MITSOULIS [13], aussi bien les valeurs numériques du taux de gonflement (Voir Tableau de comparaison) que sur les allures des courbes de la vitesse (Fig.3) et de la pression (Fig.4). La distribution de la vitesse est régulière et décroissante et tend vers un plateau ce qui tout à fait conforme aux prévisions car on a déglacement solide du fluide à partir d'une certaine longueur. Pour la distribution de la pression le long la paroi et la surface libre (Fig.4), la pression présente une perturbation sous forme de pic qui tend vers une valeur fortement négative au voisinage de la singularité [22]. Ce dernier [22] ne donne malheureusement que des résultats graphiques qui ne permettent pas d'effectuer des mesures très précises de l'erreur commise au niveau de la pression et de la vitesse des figures 3et 4.

La figure 5 donne la forme de la surface libre pour un fluide ($Re=0.001$) de type Loi de Puissance avec comme indice $k=1$, $k=0.5$ et $k=0.38$. Il est conforme à l'allure et la forme à ce qui a été obtenue par E. MITSOULIS [13]. Une petite contraction apparaît immédiatement après la sortie du fluide au point S pour $k=0.5$ et $k=0.38$. On ne sait pas si cette contraction représente le comportement réel du fluide Rhéofluidifiant ou simplement un artefact numérique [13]. Nous nous sommes intéressés aussi à l'évolution du taux de gonflement pour un nombre de Reynolds $Re=0.001$ (Fig.5) et le taux de gonflement en fonction en fonction du nombre de Reynolds pour un indice $k=0.25$ (Fig.7). Malheureusement pour ces deux derniers résultats, nous ne disposons pas de résultats dans les littératures scientifique permettant de confirmer ces résultats, mais nous pensons que ces résultats sont conforme au comportement du fluide selon lequel le taux de gonflement augmente avec l'indice et diminue avec le nombre de Reynolds.

Bibliographies

- [1] Ready K. R. and Taner R. I, Computers and Fluids, vol 6, 83, (1978)
- [2] Kelmanson, M. A. Boundary integral equation solution of Viscous Flow Whit Free surfaces. Journal of Engineering Mathematics 17, p329-344-198
- [3] Ryan M L, Dutta A. A finite difference Simulation of Extrudate Swell. Proceeding 2nd World Congress of chemical Engineering Montreal 6, p278-285 (1981)
- [4] Anthony T. Patera. A Spectral Element Method for Fluid Dynamics : Laminar Flow in a Channel Expansion. Journal of Computational Physics. Vol 54, N°. 3

- [5] Karol Z. Korczak and Anthony T. Patera. An Isoparametric Spectral Element Method for Solution of the Navier-Stokes Equations in Complex Geometry. *Journal of Computational Physics*. 62, 361-382 (1986).
- [6] Mark R. Shumack and William W. Shultz and Jhon P. Boyd. Spectral Method Solution of the Stokes Equations on Nonstaggered Grids. *Journal of Computational Physics*. 94, 30-58 (1991).
- [7] J.N. Reddy An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis Oxford University Press, New York, 2004.
- [8] P.J. Diamessis, J.A. Domaradzki, J.S. Hesthaven, A spectral multidomain penalty method model for the simulation of high Reynolds number localized incompressible stratified turbulence, *J. Comput. Phys.* 202 (2005) 298.
- [9] M. Iga*, J.N. Reddy. Penalty Finite Element Analysis of Free Surface flows of power-law Fluids. *Journal non linear Mechanics*, Vol 24, N° 5 p383-399 (1989).
- [10] Méthodes des éléments finis pour les fluides. O. Pironneau. Collection Recherche en Mathématiques Appliquées RMA
- [11] Temam R. (1984). Navier-Stokes equations: theory and numerical analysis. Amsterdam, NorthHolland.
- [12] Christine Bernadi, Vivette Giraud, Frédéric Hecht. Choice of penalty parameter for the finite element discretization of Navier-Stokes equations. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I* 336 (2003) 671-676
- [13] E. Mitsoulis, J. Vlachopoulos and F. A. Mirza. Numérical Simulation of Entry and Exit Flows in Slit Die. *PoLymer Engineering and Sciences*, June, 1984, Vol. 24, N° 9
- [14] F. Brezzi - "Sur l'existence, unicité et approximation numérique de problèmes de point de selle" *C.R. Acad. Sc.Paris, Serie A*, 278 (18 mars 1974), 839-842, (1974)
- [15] C. Bernardi, C. Canuto, Y. Maday — Generalized inf-sup condition for Chebyshev spectral approximation of the Stokes problem, *SIAM J. Numer. Anal.* 25 (1988), 1237–1271.
- [16] C. Canuto, M.Y. Hussaini, A. Quarteroni and T.A. Zang , *Spectral Methods in Fluid Dynamics*, Springer-Verlag, New York (1988) DM 162
- [17] Y Maday, AT Patera, EM Rønquist, The method for the appximationof the stokes problem *Laboratoire d'Analyse Numérique, Paris VI* , 11, fasc .4, 1992.
- [18] M.Azaiez : Calcul de la pression dans le problème de stokes pour des fluids visqueux incompressible par une méthode spectrale de collocation. Thèse de doctorat de l'université de Paris sud, 1990
- [19] E.M. Ronquist. Optimal spectral element methods in the unsteady 3 dimensionnal incompressible Navier-stokes equation. Phd. Thesis, M.I.T., Cambridge, Mass, 1990
- [20] Karol. Z. Korczak and Anthony T. Pattera. An Isparametric Spetral Element Method for Solution of the Navier-Stokes Equations in Complex Geometry. *Journal of Computational Physics* 62. 361-382 (1986)
- [21] Paul. F. and Anthony T. Pattera. Paerallel Spetral Element solution of the stokes problem. *Journal of Computational Physics* 92. 380-421 (1991)
- [22] S. Claus , C.D. Cantwell , T.N. Phillips. Spectral/hp element methods for plane Newtonian extrudate swell. *Computers & Fluids* 116 (2015) 105–117
- [23] B.J. Omodei, *Computers and Fluids*, vol.7, (1979), 79

Etude de la sûreté de fonctionnement d'un passage à niveau Marocain par approche Markovienne et par réseaux de Pétri stochastiques.

El Houssain AZOUR, Jaouad BOUDNAYA, Abdelhak MKHIDA

Laboratoire Mécanique, Mécatronique et Commande (L2MC)
Université Moulay Ismail, ENSAM Meknès, Marjane 2 B.P 15290, Route d'Agouray Al Mansour
Meknès, Maroc

Azour.elhoussain@gmail.com, j.boudnaya@gmail.com, abdelhak.mkhida@gmail.com

Résumé : Les passages à niveau (croisement d'une voie ferrée avec une route) constituent les plus importantes sources d'accidents mortels dans le domaine ferroviaire au Maroc. Pour confronter cette problématique, l'Office National des Chemins de Fer Marocain a lancé un programme visant à supprimer plusieurs centaines de passages à niveau.

Le présent travail propose une modélisation d'un passage à niveau Marocain par approche Markovienne en vue d'une comparaison avec la modélisation par réseaux de Pétri stochastiques en terme d'évaluation des caractéristiques de sa sûreté de fonctionnement particulièrement la fiabilité. Cette étude permet aussi l'identification de la criticité des composants via les facteurs d'importance.

La nouveauté dans ce papier est la modélisation dynamique d'un passage à niveau Marocain par chaîne de Markov en prenant en compte le facteur humain.

Les résultats ainsi obtenus, peuvent être exploités par les services de maintenance des infrastructures de l'Office National des Chemins de Fer pour évaluer la fiabilité instantanée d'un passage à niveau d'un côté ; et d'un autre côté pour élaborer les plans de maintenance préventive.

Mots clés: Sûreté de fonctionnement, fiabilité, passage à niveau, réseaux de Pétri stochastiques, chaîne de Markov, facteurs d'importance.

Abstract: A level crossing is a point where a road or footpath intersects a railway at the same elevation. Level crossings are universally considered a weak point in terms of railway safety.

This paper, within the level crossing dependability study framework, presents a comparative study between the level crossing Markov chain modeling and the stochastic Petri Nets modeling in term of reliability assessment. The human factors and devices failure are also taken into account. Then, an importance measures study is proposed in order to identify and figure out critical components in level crossing system.

Keywords: Dependability, reliability, level crossing, stochastic Petri nets, Markov chain, importance measures.

I. INTRODUCTION

La sécurité ferroviaire est l'un des problèmes les plus complexes, qu'il faut aborder pour mieux évaluer et améliorer les performances des systèmes ferroviaires particulièrement dans les passages à niveau constituant les plus importantes des

sources d'accidents à grand risque dans le domaine ferroviaire au Maroc.

Dans cette optique, plusieurs travaux de recherches sont élaborés dans la littérature. En 1994, S.M.EASA a présenté une méthode probabiliste tenant compte de la variation des variables de conception des composants de la distance de visibilité au niveau des passages à niveau afin d'évaluer la fiabilité du système [1]. En 2006, S.Collart Dutilleul, F.Defossez et P.Bon ont modélisé les passages à niveau par réseaux de Pétri P-temporisés en vue de satisfaire les exigences et spécifications de temps préconisées par les systèmes de sécurité ferroviaire [2]. En 2009, M.Ghazel et les membres de son équipe ont proposé un modèle global du passage à niveau prenant en compte aussi bien la partie ferroviaire que la partie routière. Ce modèle élaboré en utilisant les réseaux de Pétri stochastiques, est obtenu par intégration progressive des modèles élémentaires développés; chacun d'eux décrit le comportement d'une section. Il permet le suivi et l'évaluation qualitative et quantitative de l'effet de divers facteurs sur le niveau de risque [3]. En 2010, l'équipe, composée de J.Silmon et C.Roberts, a analysé les interactions fonctionnelles entre les fonctions des systèmes des passages à niveau existants et tout nouveau système technologique en terme de fiabilité. Et ce afin de choisir les propriétaires d'actifs qui souhaitent améliorer la fiabilité des systèmes existants [4]. En 2012, K.Bahloul, F.Defossez, M.Ghazel et S.Collart Dutilleul ont proposé d'améliorer la sécurité des passages à niveau par l'analyse des bases de données d'accident/incident par l'intégration du comportement humain en utilisant des diagrammes UML. L'objectif de cette étude était de faire ressortir les principales fonctions de protection du passage à niveau qui sont concernées par les différents acteurs du projet. La méthode est validée par la simulation de Monte Carlo [5].

Dans le présent papier, nous proposons une modélisation d'un passage à niveau par approche Markovienne en vue d'une comparaison avec la modélisation par réseaux de Pétri stochastiques en terme d'évaluation de la fiabilité. Cette étude permet aussi l'identification de la criticité des composants via les facteurs d'importance.

Ce document sera structuré comme suit : la section II est consacrée aux généralités sur les passages à niveau Marocains. Dans les sections III et IV, nous donnons des généralités sur

les deux approches de modélisation : Chaîne de Markov et réseau de Pétri stochastique. La section V aborde une modélisation du facteur humain. La section VI donne des généralités sur la notion des facteurs d'importance et la dernière section présente le cas d'étude élaboré.

II. PASSAGES A NIVEAU AU MAROC

A. Généralités

Les passages à niveau (PN) sont des croisements à niveau d'une voie ferrée avec une voie routière ou piétonnière. Dans le cadre du programme global de la sécurisation de la traversée de la voie ferrée, il a été décidé en juillet 2012 de renforcer la sécurité de tous les PN non gardés situés sur les lignes à fort trafic. De nouveaux équipements seront installés sur les PN non gardés et permettront d'annoncer aux usagers de la route l'approche du train. Un prototype (figure 1) est mis en service au PN N° 3080 situé au Km 168+088 entre Tanger et Sidi Kacem à l'occasion de la journée mondiale ILCAD le 07 Mai 2013 [6].

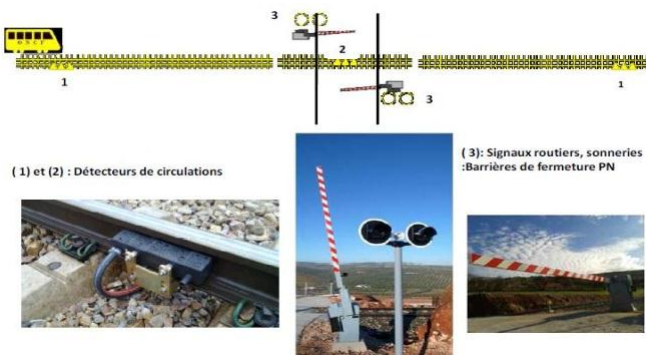


FIGURE 1 : Prototype du PN Marocain

B. Principe de fonctionnement

La figure 2 présente le principe de sécurisation des passages à niveaux non gardés (Maroc 2013) [6]:

- Situation de repos (PN ouvert) : les feux routiers et sonnerie éteints et barrières levées.
- Activation du système : un dispositif de détection (pédale d'annonce) est placé à une distance du PN. Lorsque le train attaque ce dispositif, les feux routiers s'allument au rouge et la sonnerie tinte (annonce du train).
- Fermeture des barrières : Après environ 7 secondes du déclenchement de l'annonce, les barrières commencent à s'abaisser. La position basse des barrières est atteinte après 10 secondes.
- Réouverture du PN : lorsque le train arrive au PN (35 secondes après l'annonce), il attaque le dispositif de réarmement (pédale de reddition). Après le dégagement complet du train, les barrières se lèvent, les feux routiers et la sonnerie cessent de tinter.



FIGURE 2 : Principe de fonctionnement du PN

III. MODELISATION PAR CHAINE DE MARKOV

A. Généralités

L'approche markovienne est la plus connue des méthodes utilisées dans le traitement probabiliste des systèmes à comportement dynamique. C'est une approche analytique par états basée sur l'identification des différents états du système concerné puis sur l'analyse de l'évolution dudit système entre lesdits états. Cette approche porte le nom de son fondateur Andrei Markov (1856-1922), un mathématicien russe. Il est surtout connu pour son travail sur les processus stochastiques. Un sujet principal de sa recherche est devenu plus tard connu sous le nom des chaînes de Markov et processus de Markov. Il a publié ses premiers résultats en 1906, qui ont été généralisés à un espace d'états infini dénombrable par Andrei Kolmogorov en 1936 [7].

B. Définitions

- **Processus stochastique :**

Un processus stochastique est un ensemble de variables aléatoires $(X_t)_{t \geq 0}$ à valeurs dans l'ensemble des observations ;

- **Processus Markovien :**

Un processus stochastique est markovien si la probabilité de passage de l'étape présente à la suivante ne dépend pas du passé. En d'autre terme :

$$\text{Pour tout } (t_1, t_2, \dots, t_n) \text{ tq } t_1 < t_2 < \dots < t_{n-1} < t_n$$

$$P[X(t_n)=X_n / X(t_{n-1})=X_{n-1}, \dots, X(t_1)=X_1] =$$

$$P[X(t_n)=X_n / X(t_{n-1})=X_{n-1}] \quad (1)$$

- **Processus Markovien homogène :**

Un processus markovien est homogène si :

$$\text{Pour } [X_n, n=0, 1, \dots], \text{ on a}$$

$$P[X_n = j / X_{n-1} = i] = P[X_1 = j / X_0 = i] \text{ pour tout } n \geq 1 \quad (2)$$

- **Probabilité de transition :**

On peut définir la probabilité de transition (en étape) de i à j comme :

$$p_{ij} = P[X_1 = j / X_0 = i] \text{ pour tout } (i, j) \in S^2 \quad (3)$$

Ainsi, la probabilité p_{ij} est égale à la probabilité conditionnelle que le système se retrouve dans l'état j à l'étape suivante sachant qu'il se trouve actuellement dans l'état i . Si la chaîne possède $s = |S|$ états et par la suite la matrice M à éléments (p_{ij}) de taille $s \times s$ dont les lignes et les colonnes sont indexées par les éléments de S , la probabilité conditionnelle d'aller de i à j en m étapes exactement est :

$$p_{ij}^{(m)} = P[X_m = j / X_0 = i] = P[X_{n+m} = j / X_n = i] \quad (4)$$

pour tout $n \geq 1$

Cette probabilité ne dépend pas de n car le processus est homogène et est appelée la probabilité de transition en m étapes de i à j .

La matrice $M^{(m)}$ dont l'élément (i, j) est égal à $p_{ij}^{(m)}$ est appelée la matrice de transition en m étapes.

C. Graphe représentatif

La matrice de transition d'une chaîne de Markov M peut être représentée par un graphe orienté G dont :

- Les sommets représentent les états de la chaîne ;
- Les arcs relient les sommets associés aux états i et j si la probabilité de transition de i à j est positive ($p_{ij} > 0$).

La construction du modèle se fait en 2 étapes :

- Recensement de tous les états du système. Si chaque composant a 2 états (ok ou panne) et si le système a n composants, le nombre maximal d'états est 2^n . Au cours de la durée de vie du système, des états de panne peuvent apparaître à la suite de défaillance ou disparaître à la suite de réparation ;
- Recensement de toutes les transitions entre ces différents états et l'identification de toutes les causes de ces transitions. Les causes de transitions sont généralement des défaillances des composants ou la réparation des composants. Ainsi, les probabilités de transition correspondent aux taux de défaillance λ et aux taux de réparation μ [7].

La figure 3 est un exemple de modélisation par chaîne de Markov pour un système à deux composants.

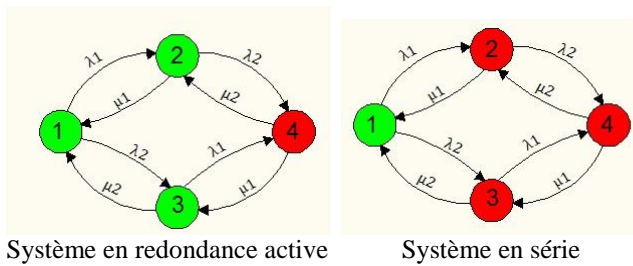


FIGURE 3: Exemple de modélisation par chaîne de Markov d'un système à deux composants.

D. Evaluation de la sûreté de fonctionnement

Pour évaluer les attributs de la sûreté de fonctionnement d'un système modélisé par chaîne de Markov particulièrement la disponibilité et la fiabilité, il faut calculer la probabilité d'être dans un état de bon fonctionnement à un instant t . Le calcul de cette probabilité est réalisée via la résolution de l'équation différentielle dite de premier ordre de Chapman-Kolmogorov [7] suivante:

$$dP(t) / dt = M * P(t) \quad (5)$$

Où M est la matrice des taux de transition $M_{ij} = p_{ij}$ et $p_{ii} = -\sum p_{ij}$ pour tout $j \neq i$.

Ainsi, la disponibilité du système est donnée par :

$$A(t) = \sum P_i(t) \quad (6)$$

pour tout $i \in$ l'ensemble des états de bon fonctionnement

Et la fiabilité peut se calculer par la formule suivante :

$$R(t) = \sum P_i(t) \quad (7)$$

pour tout $i \in$ l'ensemble des états de bon fonctionnement

IV. MODELISATION PAR RESEAUX DE PETRI STOCHASTIQUES

A. Généralités

Carl Adam Pétri a proposé dans ses travaux de thèse (1962) un nouvel outil dédié à la modélisation des automates. Dans les années 70, S. Natkin et G. Florin ont proposé des réseaux

de Pétri markoviens. Dans les années 80, J.P. Signoret et A. Leroy ont utilisé les réseaux de Pétri comme modèles comportementales pour réaliser des simulations de Monte-Carlo (pour les grands systèmes).

Les réseaux de Pétri (RDP) constituent un outil mathématique de modélisation des systèmes dynamiques à événements discrets. Ils décrivent des relations entre des conditions et des événements.

B. Définition

Un réseau de pétri est un quintuple : $RDP = (T, P, A, M_0)$

T : ensemble de transitions $T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}$

P : ensemble de places $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$

A : ensemble d'arcs $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad \{TxP\} \cup \{PxT\} \subseteq A$

M_0 : marquage initial : $\{m(p_i)\}$ (entier ≥ 0 = nombre de jetons dans la place p_i) [9].

La figure 4 montre un exemple d'un réseau de Pétri. Les places, les transitions, les arcs et le marquage du présent exemple sont présentés dans cette figure :

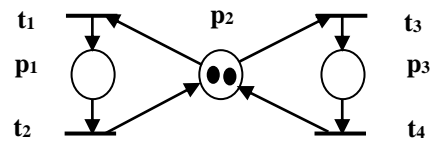


FIGURE 4 : Exemple d'un RDP

Transitions : $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$

Places : $P = \{p_1, p_2, p_3\}$

Arcs = $\{(p_2, t_1), (t_1, p_1), (p_1, t_2), (t_2, p_2), (p_2, t_3), (t_3, p_3), (p_3, t_4), (t_4, p_2)\}$

Marquage initial : $M_0 = [0 \ 2 \ 0]$

Numéros de Places correspondantes : 1 2 3

C. Réseaux de Pétri stochastiques

Un réseau de Pétri ordinaire stochastique à lois exponentielles $RDPS = \langle RDP, (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q) \rangle$ est un réseau de pétri ordinaire temporisé dont les durées de sensibilisation de chaque transition T_j sont des variables aléatoires tirées dans des distributions exponentielles de paramètres $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q)$ [8].

Les réseaux de Pétri stochastiques ont été introduits par Florin dès 1978 pour répondre à certains problèmes d'évaluation liés à la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques. Ces problèmes faisant intervenir des phénomènes aléatoires, les transitions du réseau de Pétri ont comporté des temps de franchissement aléatoires, distribués par une loi exponentielle. Cette distribution exponentielle permet d'exploiter les propriétés mathématiques d'un processus de Markov. Bien entendu, ce concept a été largement développé dès le début des années 80 pour répondre aux exigences de la modélisation de plus en plus complexes comme par exemple la modélisation des systèmes de production [9].

Les notions de base ainsi que les principales propriétés se retrouvent dans de nombreux ouvrages [10] et [11].

De nombreuses classes de réseaux de Pétri stochastiques sont proposées pour l'analyse des performances des systèmes de production.

Les caractéristiques des différentes classes de réseaux de Pétri stochastiques se situent essentiellement dans la nature des transitions utilisées. Initialement un réseau de Pétri stochastique a toutes ses transitions temporisées avec un temps aléatoire qui est distribué avec une loi exponentielle, mais nous retrouvons d'autres types de transitions [9].

V. FACTEURS D'IMPORTANCE

En 1969, Birnbaum était le premier à introduire la notion des facteurs d'importance afin d'identifier comment chaque composant du système peut contribuer à la performance du système global. Il a défini des mesures dites d'importance. Chaque mesure est définie comme étant la probabilité qu'un composant i est critique vis-à-vis la sûreté de fonctionnement du système. En d'autres termes, c'est la probabilité que la défaillance d'un composant i conduit à la transition du système d'un état de bon fonctionnement à un état de panne. L'objectif majeur des facteurs d'importance de Birnbaum est de mettre le point sur l'influence de l'évolution de la fiabilité d'un composant i sur celle du système global. Analytiquement, le facteur d'importance de Birnbaum est défini par la formule [12] suivante:

$$I^{(B)}(i) = R_s / [R_i = 1] - R_s / [R_i = 0] \quad (8)$$

Où :

$R_s / [R_i = 1]$: la probabilité que le système est fiable sachant que le composant i est en bon état de fonctionnement.

$R_s / [R_i = 0]$: la probabilité que le système est fiable sachant que le composant i est en panne.

VI. ETUDE DU FACTEUR HUMAIN

Comme il est défini dans le papier [13], le facteur humain reflète le comportement des usagers (conducteurs et piétons) de la route qui cause la majorité des risques d'accidents.

Dans la suite de ce papier, nous prenons la modélisation du facteur humain développée et calculée dans la référence [13].

$$\lambda_{HF} = (N * P) / (A * L) = 1.347 * 10^{-4} h^{-1} \quad (9)$$

Où

N : nombre d'années ;

P : pourcentage des accidents causés par l'erreur humaine ;

A : nombre d'années ;

L : nombre de lignes ferroviaires.

VII. CAS D'ETUDE

A. Description du système

Pour faire une étude de la sûreté de fonctionnement des passages à niveaux Marocains, il faut se concentrer essentiellement sur les parties suivantes :

- La partie Rail : elle contient la partie matériels (train et les chemins de fer) et la partie humaine (opérateur du train) ;
- La partie Route : elle englobe la partie matériels (véhicule et route) et la partie humaine (conducteurs et piétons) ;
- Le passage à niveau : il est composé de trois principales parties :
 - La partie alimentation et communication assurée par les réseaux d'électricité et de communication ;
 - La partie du contrôle/commande assurée par un automate programmable et son programme ;
 - La partie opérative contenant les capteurs (d'annonce et de reddition) et les actionneurs (les barrières, les feux de signalisation et les alarmes).

Nous supposons que la fiabilité de chaque composant suit une loi exponentielle avec un taux de défaillance λ approché.

Ainsi, la fiabilité de chaque composant de base i à l'instant t est donnée par $R_i(t) = \exp(-\lambda_i t)$ [13]. Nous supposons aussi que les composants ne sont pas réparables. Donc, la disponibilité du système étudié est égale à sa fiabilité.

Dans la suite de ce papier, nous prenons les valeurs des taux de défaillance répertoriées dans le tableau ci-dessous extrait de la référence [13].

TABLEAU : les taux de défaillance des composants du PN.

Symbole	Description	Taux de défaillance (h^{-1})
HF	Human Failure	$1.347 * 10^{-4}$
VF	Vehicle Failure	$18 * 10^{-3}$
RF	Rail Failure	$2.85 * 10^{-6}$
PLCF	Programmable Logic Controller Failure	$4 * 10^{-6}$
PE	Program Error	$5 * 10^{-8}$
NCF	Network Communication Failure	$5 * 10^{-6}$
PNF	Power Network Failure	$5 * 10^{-6}$
SAF	Sensor Ad Failure	$2 * 10^{-4}$
SSF	Sensor Surrender Failure	$2 * 10^{-4}$
AF	Alarm Failure	$4 * 10^{-4}$
LF	Light Failure	$4 * 10^{-4}$
MF	Motor Failure	$3 * 10^{-6}$
TSF	Transmission System Failure	$5 * 10^{-5}$

Le diagramme de fiabilité développé en [14] est donné par la figure 5:

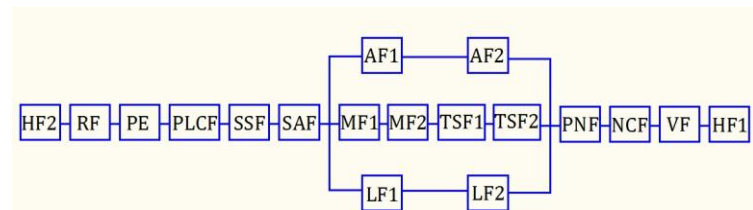


FIGURE 5 : Diagramme de fiabilité du PN Marocain.

B. Modélisation par chaîne de Markov

Le système étudié peut avoir deux états possibles : état de bon fonctionnement ou état de panne. Pour simplifier le modèle et réduire le nombre d'états, on s'arrête au premier état de panne causé par la défaillance d'un composant ou d'un ensemble de composants.

L'état initial (état 1) correspond à l'état où tous les composants du PN sont en bon fonctionnement.

Les états 2, 9, 16 et 27 : sont causés par une erreur humaine ou une défaillance de la partie du matériel (HF2 ou RF).

Les états 3, 10, 17 et 28 correspondent aux états provoqués par la défaillance de la partie contrôle/commande (PE ou PLCF).

Les états 4, 11, 18 et 29 sont provoqués par la défaillance de la chaîne d'acquisition (SSF ou SAF).

Les états 5, 12, 19 et 30 correspondent aux états où il y a une défaillance au niveau du réseau d'alimentation électrique ou du réseau de communication (PNF ou NCF).

Les états 6, 13, 20, 31 sont des états où la panne du PN est causée par une erreur humaine des conducteurs ou une défaillance des véhicules (VF ou HF1).

L'état 26 correspond à un état de panne du système causé par la défaillance de la partie opérative (AF et LF et (MF ou TSF)).

L'état 7 correspond à un état de bon fonctionnement du système même s'il y a défaillance des alarmes ou des feux de la signalisation (AF ou LF).

L'état 14 est un état de bon fonctionnement du système. Il correspond à un état où les alarmes et les feux de la signalisation sont défaillants (AF et LF).

L'état 8 correspond à un état de fonctionnement du système même s'il y a défaillance au niveau de la motorisation de la barrière (MF ou TSF).

L'état 15 est un état de bon fonctionnement correspondant à un état où la motorisation et les alarmes sont défaillants (MF et TSF et AF) ou la motorisation et les feux de signalisation sont défaillants (MF et TSF et LF).

Le modèle que nous avons développé, est donné par la figure 6 suivante :

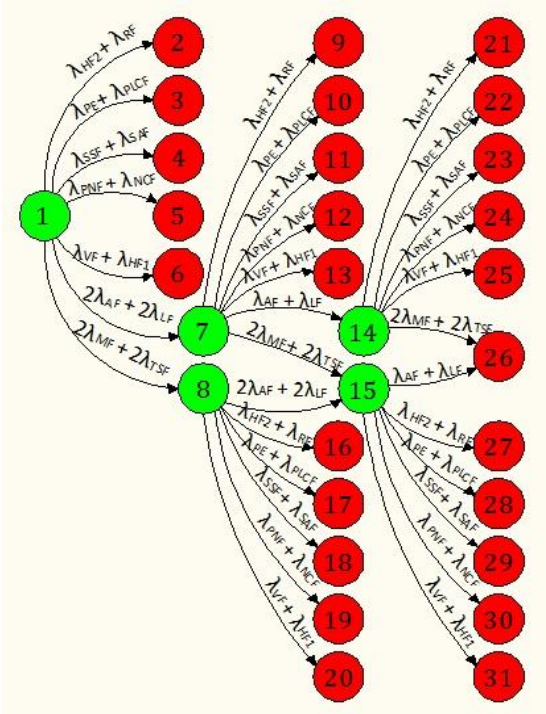


FIGURE 6 : modèle Markovien du passage à niveau Marocain.

En résolvant l'équation différentielle (5) et appliquant l'équation (6), on obtient :

$$A(t) = R(t) = P_1(t) + P_7(t) + P_8(t) + P_{14}(t) + P_{15}(t)$$

Le résultat est illustré dans la figure 7.

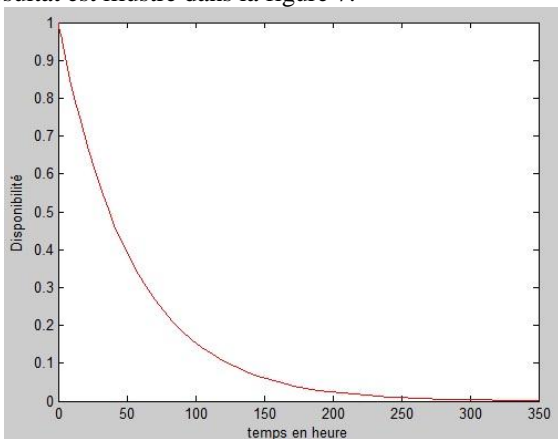


FIGURE 7 : Disponibilité du PN Marocain utilisant le modèle de Markov

C. Modélisation par réseaux de Pétri stochastiques

Les figures de 8 à 12 donnent la modélisation faite en utilisant les réseaux de Pétri stochastiques. Cette modélisation fait partie du travail communiqué au 2^{ème} Congrès International de Génie Industriel et de Management des Systèmes CIGIMS'2015 [15].

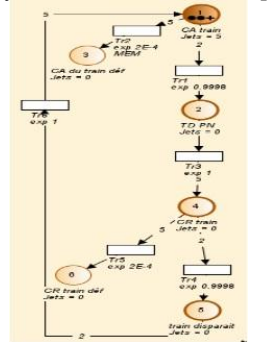


FIGURE 8 : RDP des capteurs

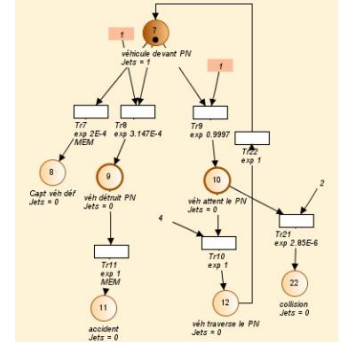


FIGURE 9 : RDP du facteur humain

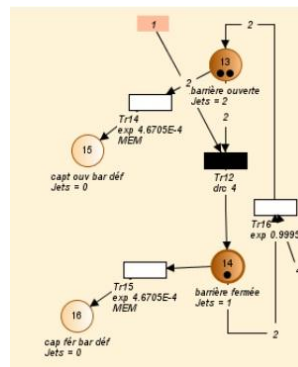


FIGURE 10 : RDP de barrière

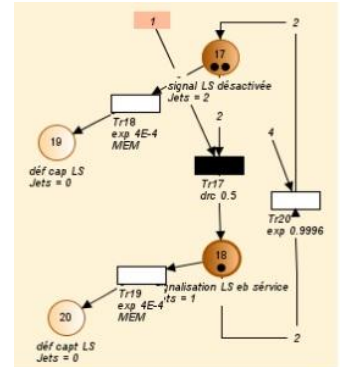


FIGURE 11 : RDP de signalisation

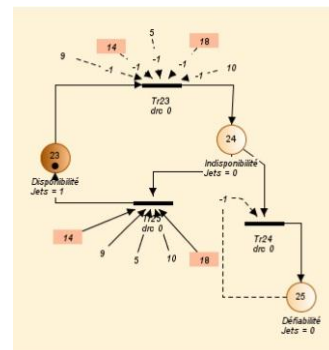


FIGURE 12 : RDP du système global.

Le résultat ainsi obtenu est donné dans la figure 13.

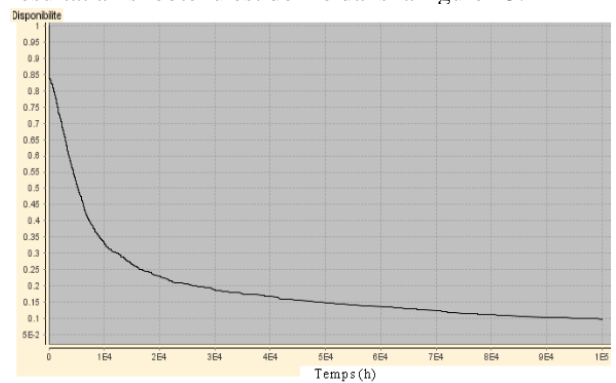


FIGURE 13 : la disponibilité du PN Marocain utilisant le RDP.

D. Facteurs d'importance

Le calcul des facteurs d'importance donné par la formule de Birnbaum (8), sera réalisé comme suit :

- Calcul de $R_s / [R_i = 1]$ par résolution de l'équation différentielle (5) avec $\lambda_i = 0$;
- Calcul de $R_s / [R_i = 0]$ par résolution de l'équation différentielle (5) avec $\lambda_i = 1$;
- Calcul de la différence $I(i) = R_s / [R_i = 1] - R_s / [R_i = 0]$.

Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 14.

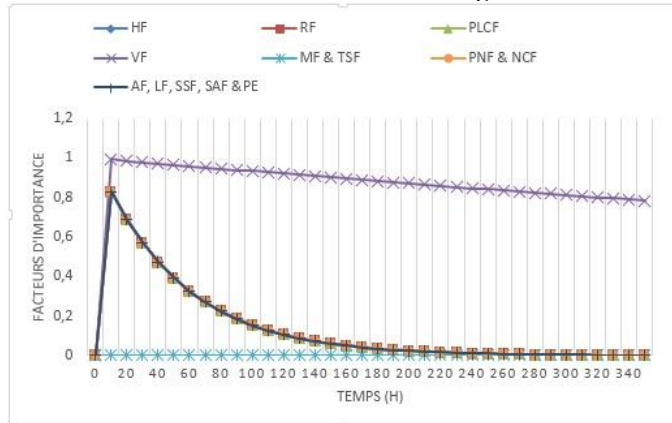


FIGURE 14 : Facteurs d'importance du PN Marocain.

E. Discussion des résultats

Le résultat obtenu via la modélisation par approche Markovienne montre bien que le système de passage à niveau devient indisponible à partir de $t = 300$ h. quant au résultat obtenu par réseau de Pétri en utilisant le logiciel GRIF-Module réseau de Pétri à prédicats [15], il montre que la disponibilité est asymptotique ($A(t) = 9.8E-2$) au bout de $t=100\ 000$ heures. La différence entre les résultats peut être justifiée d'un côté par le fait que la modélisation par RdP n'a pas pris en compte les deux composants Rail (RF) et véhicule (VF) alors que dans l'approche Markovienne, nous les avons traités. D'un autre côté par les incertitudes des deux modèles élaborés. Voire même, les incertitudes des valeurs de taux de défaillance utilisées.

Dans tous les cas, afin d'assurer une meilleure disponibilité du système du passage à niveau, il faut orienter les efforts soit de conception ou bien d'opération de maintenance vers les composants critiques déterminés par l'approche des facteurs d'importance. Ces composants sont VF, HF, PLCF, PNF et NCF.

VIII. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons modélisé un passage à niveau Marocain en utilisant l'approche Markovienne en prenant en considération le facteur humain pour ensuite comparer le résultat obtenu par cette approche avec celui obtenu par modélisation par réseau de Pétri stochastique décrite dans le papier [15]. Ensuite, nous avons mis l'accent sur les composants critiques qui influencent le plus la disponibilité du système en utilisant les facteurs d'importance. Les résultats ainsi trouvés peuvent être exploités par le service maintenance des infrastructures de l'ONCF afin d'élaborer les plans de maintenance préventive du système des passages à niveau.

Dans nos travaux futurs, on souhaite évaluer le risque d'occurrence d'accidents dans les PN dans un environnement incertain selon les taux d'occupation de chaque PN et des paramètres de fiabilité de ses composants.

Remerciement

Au terme de ce papier, nous remercions l'ONCF ainsi que le Centre d'Etudes Doctorales de l'ENSAM Meknès. Nous n'oublions pas non plus nos collègues et experts pour la source d'information. Et nous remercions bien évidemment le comité d'organisation du Congrès International sur les Technologie d'Information et les Systèmes de Production Intégrés (TISPI 2016) de nous permettre de communiquer nos travaux et résultats.

Références

- [1] M.EASA, S. (1994). Reliability-Based design of sight distance at railroad grade crossings. *Transp. Res.-A*. vol.28 A, No.1, 1-15.
- [2] Collart, D. S., Defossez, F., & Bon, P. (2006). Safety requirements and p-time petri nets :A level crossing case study. *IMACS Multiconference on "Computational Engineering in Systems Applications"(CESA)*. Beijing, China.
- [3] Ghazel, M. (2009). Using Stochastic Petri Nets for Level-Crossing Collision Risk. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, Vol. 10, No. 4.
- [4] Joe, S., & Clive, R. (2010). Using functional analysis to determine the requirements for changes to critical systems : Railway level crossing case study. *Reliability Engineering and System Safety* 95, 216-225.
- [5] Bahloul, K., Defossez, F., Ghazel, m., & Simon, C.-d. (2012). Adding technological solutions for safety improvement at level crossings : a functional specification. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1375-1384.
- [6] ONCF-Maroc (2013). Sécurisation de la traversée des voies ferrées au droit des passages à niveau: Equipement des passages à niveau non gardés par système automatique d'annonce et de protection, ILCAD.
- [7] Claire Pagetti (2012). Module de sûreté de fonctionnement. *Chaine de Markov*-pp 34-41. ENSEEIHT 3ème TR-Option SE.
- [8] Ould El Mehdi, S., Leclercq, E., & Lefebvre, D. (2008). Identification de Modèles de Réseaux de Pétri Stochastiques Déterministes à Partir de Séquences d'Evènements. *Congrès de Maitris des Risques et de Sûreté de Fonctionnement*.
- [9] LABADI, K. (2005). Contribution à la modélisation et à l'analyse de performances des systèmes logistiques à l'aide d'un nouveau modèle de réseaux de pétri stochastiques. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes (UTT).
- [10] J. Haas, P. (2002). *Stochastic Petri Nets: Modeling, Stability, Simulation*. Springer-Verlag.
- [11] Lindemann, C., & Thümmler, A. (1996). *Transient Analysis of Deterministic and Stochastic Petri Nets with Concurrent Deterministic Transitions*.
- [12] Birnbaum, Z. W. (1969). *On the Importance of Different Components in a Multi-Component System*, Academic Press, New York.
- [13] Boudnaya, J., Mkhida, A., & Sallak, M. (2014). A dependability analysis of a Moroccan level crossing based on Fault tree analysis and importance measures. Dans *MOSIM (Éd.)*. NANCY, France.
- [14] Boudnaya, J., Mkhida, A. (2015). Comparative Study of the Reliability of a Moroccan Level Crossing System Using Belief Function Theory and Imprecise Probabilities. *Mediterranean Conference on Information and Communication Technologies (MedICT'15)*, May 7-9-2015, Saidia, Morocco.
- [15] Boudnaya, J., SAIDI, N., GHANNAM, S., Mkhida, A. (2015). Modélisation d'un passage à niveau Marocain par réseau de Pétri stochastique en vue de l'évaluation de la sûreté de fonctionnement. *Congrès International de génie industriel et Management des Systèmes (CIGIMS 2015)*.

Modélisation et Simulation numérique de l'effet de la température sur la force aérodynamique des éoliennes

Modeling and numerical simulation of the temperature effect on the aerodynamic force wind

Mohamed Mohamed LEMINE
Laboratoire de Modélisation et
Simulation des Systèmes
Mécaniques, FS-Tétouan, UAE, B.P:
2121, M'Hannah, 93000, Tétouan,
Maroc
Ing.mohamed.elyaacouby@gmail.co
m

Larbi EL BAKKALI
Laboratoire de Modélisation et
Simulation des Systèmes
Mécaniques, FS-Tétouan, UAE, B.P:
2121, M'Hannah, 93000, Tétouan,
Maroc
larbi_elbakkali_20@hotmail.com

Abdel Kader Mahmoud
Laboratoire de Recherche Appliquée
aux Energies Renouvelables
(LRAER), FST, USTM-Mauritanie,
B.P: 880, Nouakchott, Mauritanie
nakader@yahoo.fr

Résumé— Dans ce travail on a utilisé des modèles mathématiques afin de réaliser des simulations qui nous permettent d'analyser l'impact de quelques paramètres sur la force axiale de l'aérogénérateur. En effet, plusieurs paramètres affectent la force aérodynamique: la température, la vitesse du vent et la longueur de la pale. Les résultats ont été trouvés par l'utilisation du logiciel de simulation Matlab. Cet article montre que la température joue un rôle primordial dans l'augmentation et la diminution de la force axiale en fonction du facteur d'interférence, et en prenant en compte d'autres paramètres dont la vitesse du vent dans le site et la longueur de la pale.

Mots-Clefs—*énergie éolienne; force aérodynamique; temperature; modélisation; densité de l'air.*

Abstract— In this work we used mathematical models to realize simulations that allow us to analyze the impact of several parameters on the axial force of the wind turbine. In fact, several parameters affecting the aerodynamic force: temperature, wind speed and the length of the blade. The results were found by using the Matlab simulation software. This paper shows that temperature plays a primordial role in increasing and decreasing the axial force according to the interference factor, and taking into account other parameters, including the wind speed at the site and the length of the blade.

Keywords—*wind power; aerodynamic force; temperature; modeling; air density.*

I. INTRODUCTION

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. La diversité des domaines techniques qui profitent des énergies issues des sources naturelles (vent, soleil, eau etc.) touchent le spectre large des technologies utilisées par l'homme. Il est aussi, à signaler que les énergies renouvelables interviennent dans la diminution des émissions des gaz à effet

de serre dans l'atmosphère qui ont une influence négative sur notre globe. L'exploitation de ces énergies évolue de manière croissante vue qu'elles représentent un centre d'intérêt pour les chercheurs, puisqu'elles sont propres et durables. Dans notre recherche on s'est intéressé à l'énergie éolienne qui est à l'origine, une énergie cinétique du vent qui est transformé en énergie mécanique à travers l'hélice de la machine et par la suite en énergie électrique.

Nous avons utilisé des modèles mathématiques qui nous ont permis de décrire l'évolution de la force aérodynamique appliquée sur la pale en fonction du facteur d'interférence, et en se basant sur quelques paramètres. Les résultats trouvés sont issus de nos travaux de simulation réalisés avec le logiciel de simulation Matlab.

Les modèles mathématiques utilisés dans le cadre notre travail permet d'analyser l'effet de la température sur la force aérodynamique. La densité de l'air varie suivant la variation de quelques paramètres dont la température du milieu d'implantation de l'aérogénérateur. Cette densité de l'air affecte l'augmentation ou la diminution de la force aérodynamique. Alors le modèle mathématique qui décrit la densité de l'air est donné par l'équation du gaz parfait. Après avoir trouvé l'équation qui donne l'impact de la température sur la densité de l'air on a introduit cette équation dans le modèle mathématique qui décrit la force axiale en fonction du facteur d'interférence.

Ces modèles mathématiques développés nous ont permis de simuler l'influence de quelques paramètres sur la force exercée sur la pale de l'hélice de l'aérogénérateur. Notre travail de simulation a conduit à l'analyse de l'influence de la variation de la température en faisant changer la vitesse du vent dans le site, la longueur du rotor du machine et en fixant les autres paramètres.

II. MODELISATION

A. Selecting a Template (Heading 2)

Dans cette partie consacrée à la modélisation, on a utilisé deux modèles mathématiques qui vont nous permettre de simuler et découvrir l'impact de la température sur la force exercée sur la pale de l'aérogénérateur.

Le premier modèle qu'on a utilisé est celui de la loi des gaz parfaits [1][2] qui nous permet de trouver la densité de l'air sec en fonction de la température ; ce modèle est présenté par l'équation suivante :

$$\rho_s(T) = \frac{P_{re}M}{R_s T} \quad (1)$$

Le deuxième modèle qu'on a utilisé est celui du Principe de variation de la quantité de mouvement. Ce modèle conduit à décrire la formule de la force appliquée sur l'hélice de l'aérogénérateur [3] ; et est donné par l'équation ci-dessous :

$$F_{aé} = 2(1-a)(\rho_s)SV_1^2 \quad (2)$$

Afin, de réaliser les simulations de l'influence de la température sur la force axiale, on a créé le modèle ci-après, et c'est par l'intégration du modèle (1) dans la formule du modèle (2) :

$$F_{aé} = 2(1-a)\left(\frac{P_{re}M}{R_s T}\right)SV_1^2 \quad (3)$$

III. SIMULATIONS

Pour notre travail de simulation, on veut analyser comment la force appliquée sur la turbine peut affecter la variation de température avec le changement d'autres paramètres. Pour réaliser notre objectif, on a cadré notre travail par les hypothèses suivantes :

- Nous fixons la vitesse du vent à une valeur de 4.3 m/s et le rayon de l'hélice à la valeur $R = 2m$; puis on change la force axiale en fonction du facteur d'interférence (a) avec une la température $T = [-10 ; 85]$. (figure 1)
- Nous fixons la vitesse du vent à une valeur de 9 m/s et le rayon de l'hélice à la valeur $R = 2m$; puis on change la force axiale en fonction du facteur d'interférence (a) avec une la température $T = [-10 ; 85]$. (figure 2)

Dans les deux premières hypothèses on a fixé le rayon et on a varié la valeur de la vitesse du vent.

- Nous fixons la vitesse du vent à une valeur de 4.3 m/s et le rayon de l'hélice à la valeur $R = 16m$; puis on change la force axiale en fonction du facteur d'interférence (a) avec une la température $T = [-10 ; 85]$. (figure 3)
- Nous fixons la vitesse du vent à une valeur de 9 m/s et le rayon de l'hélice à la valeur $R = 16m$; puis on change la force axiale en fonction du facteur d'interférence (a) avec une la température $T = [-10 ; 85]$. (figure 4)

Dans les deux hypothèses ci-dessus on a varié la valeur de la vitesse du vent et on a fixé la valeur de la longueur de la pale (rayon).

A. Force Axiale en fonction d'interférence avec $V = 4.3m/s$; $R = 2m$ et $T = [-10 ; 85]$

On a obtenu des différentes variations des courbes de la force aérodynamique en fonction de 'a'. On a remarqué que ces courbes varient selon une fonction croissante. Les changements qu'a subit cette force sont dus à la variation de la température. La nouvelle expression simulée sui la loi donnée par l'équation (3), elle est inversement proportionnelle suivant l'augmentation de la température, entraine la diminution de la force axiale et la température et augmente entrainant la diminution de la force axiale.

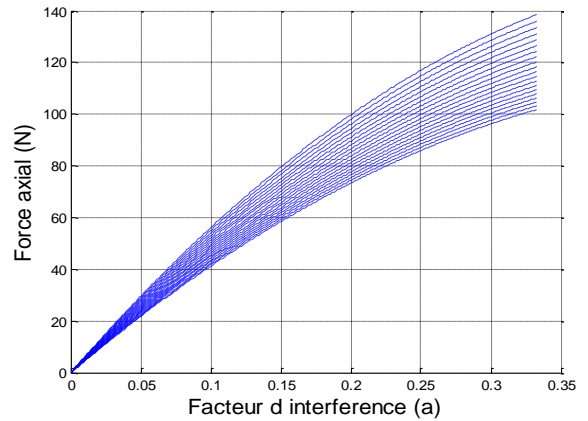


Fig. 1. Force Axiale en fonction d'interférence avec $V = 4.3m/s$; $R = 2m$ et $T = [-10 ; 85]$

B. Force Axiale en fonction d'interférence avec $v = 9m/s$; $R = 2m$ et $T = [-10 ; 85]$

Dans cette seconde simulation on a donné une nouvelle valeur à la vitesse du vent plus grand que celle donnée dans la simulation précédente. Après avoir changer la valeur de la vitesse du vent accompagnée par une variation de la température ambiante on remarque que la force exercée sur la pale a prise des diverses valeurs suivant un processus croissant en fonction de facteur d'interférence. D'après la figure 2 on peut voir que selon la température existante dans le milieu, les extrémités maximales de la force varient dans une intervalle allant de 430N jusqu'à 610N, sachant que ces résultats sont obtenus avec une valeur maximale du facteur d'interférence proche de 0,333.

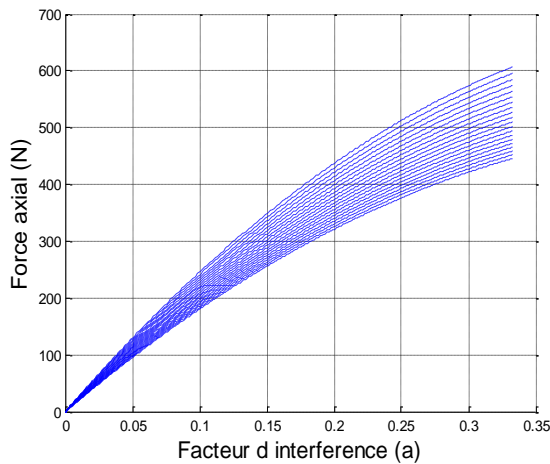


Fig. 2. Force Axiale en fonction d'interférence avec $V = 9\text{m/s}$; $R = 2\text{m}$ et $T = [-10 ; 85]$

C. Force Axiale en fonction d'interférence avec $V = 4.3\text{m/s}$; $R = 16\text{m}$ et $T = [-10 ; 85]$

Dans la figure ci dessous, on a présenté l'influence de la température ambiante sur l'aérogénérateur d'un rayon de l'hélice $R = 16\text{m}$ dans un environnement qui se caractérise par une vitesse du vent $v = 4.3\text{ m/s}$ et une température variante.

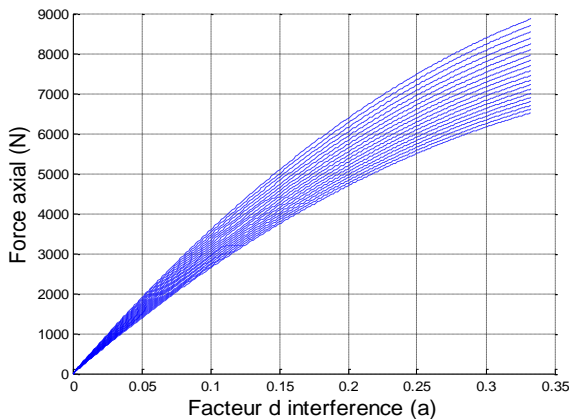


Fig. 3. Force Axiale en fonction d'interférence avec $V = 4.3\text{m/s}$; $R = 16\text{m}$ et $T = [-10 ; 85]$

D. Force Axiale en fonction d'interférence avec $V = 9\text{ m/s}$; $R = 16\text{m}$ et $T = [-10 ; 85]$

Ayant changé la valeur de la vitesse du vent pour être différente de celle utilisée dans la simulation précédente pour un aérogénérateur de rayon $R = 16\text{ m}$, on cherche à découvrir le rôle joué par la température sur la force agissant sur la pale en fonction du facteur d'interférence.

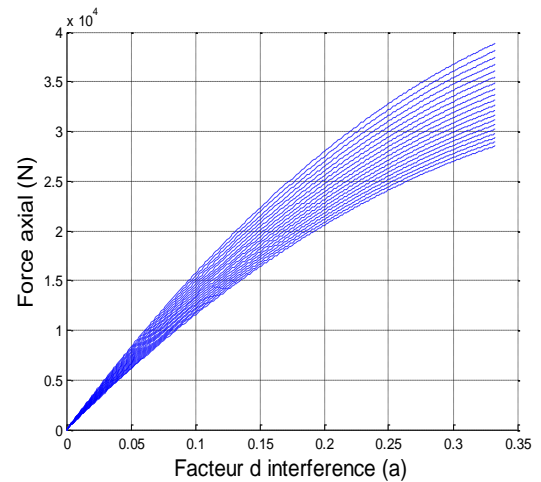


Fig. 4. Force Axiale en fonction d'interférence avec $V = 9\text{m/s}$; $R = 16\text{m}$ et $T = [-10 ; 85]$

D'après la figure 4 ci-dessus on peut remarquer que la force aérodynamique prend des différentes amplitudes dont leurs extrémités maximales varient dans un intervalle de $[27\text{ KN} - 38\text{ KN}]$, et c'est dû à l'impact de la variation de la température sur cette force. On remarque de plus que la valeur du facteur d'interférence est le même pour chaque extrémité des courbes qui représentent la variation de la force.

IV. DISCUSSIONS

D'après les analyses réalisées ci-dessus on peut dire que les paramètres qui influencent la force exercée sur la pale de l'éolien sont diverses. Selon les résultats qu'on a trouvé on constate que le changement thermique de l'environnement a un impact primordial sur l'évolution de la force axiale suivant la variation de la vitesse du vent dans le site de l'implantation de l'aérogénérateur ainsi le rayon du rotor de l'hélice.

En analysant chaque figure de nos résultats on remarque que les extrémités maximales des courbes d'évolution de la force changent suivant la variation des paramètres cités précédemment, mais elles ont la même forme de représentation.

Selon nos résultats on est arrivé à dire que la variation de la température du milieu a un effet direct sur la loi qui régit la force appliquée sur l'aérogénérateur et qui est défini dans l'équation (3), en changeant la valeur de la vitesse du vent et la longueur de la pale du rotor et en fixant les autres paramètres. Notre travail de simulation donne des résultats conformes avec ceux trouvés par les équations mathématiques (1) et (3) que nous avons présentées dans la partie de « Modélisation ».

L'implantation de l'aérogénérateur dans un environnement de température très élevée permet de diminuer la force exercée sur celui ci. Cette température influence de plus en plus, si on change les deux paramètres (la vitesse du vent qui souffle dans le milieu étudié et le rayon de l'hélice). La température du milieu où est implanté l'aérogénérateur est déterminante dans les changements que peut subir la force exercée sur la pale.

Ainsi, nous avons montré que :

- La température a une influence primordiale sur la force appliquée sur le rotor de l'aéromoteur et agit suivant la loi physique qui régit la densité,
- La force axiale est affectée par la variation de la température accompagnée par un changement de la vitesse du vent soufflant dans le milieu d'implantation (voir les figures 1 et 2),
- L'augmentation de la température avec le changement du rayon de l'hélice a un effet fondamental sur la force appliquée sur la turbine (voir les figures 3 et 4)

Notre travail a montré que la température joue un rôle principal dans l'augmentation et la diminution de la force axiale en fonction du facteur d'interférence et en prenant en compte d'autres paramètres, dont la vitesse du vent dans le site et la longueur de la pale. Ce qui nous permet d'être en mesure de prévoir que le dimensionnement de l'aérogénérateur compatible avec les caractéristiques de la force produite sur le site. Ces résultats ont une importance particulière dans le domaine de l'éolien, puisqu'ils vont permettre d'éviter plusieurs erreurs du dimensionnement des machines éoliennes et leurs conformité avec les sites choisies.

V. CONCLUSIONS

Nous avons travaillé sur le développement des modèles mathématiques qui décrivent l'impact de quelques paramètres sur l'évolution de la force aérodynamique exercée sur la pale de l'hélice de l'aérogénérateur.

Cette étude de simulation nous a permis d'analyser l'influence de la variation de la température en faisant changer la vitesse du vent dans le site d'implantation, la longueur du rotor du machine et en fixant les autres paramètres.

De ce travail on en déduit les observations suivantes :

- La variation de la température affecte directement la force axiale de l'aérogénérateur
- D'après figures 1 et 2 la variation de la température et le changement de la valeur de la vitesse du vent a un effet principal dans l'évolution de la force appliquée sur la pale.
- Le changement du rayon de l'hélice influence, lui aussi, sur la force axiale en présence d'une température qui varie dans un intervalle donné.

Les figures résultantes des 4 simulations réalisées en se basant sur le logiciel Matlab confirment les résultats trouvés théoriquement par la modélisation mathématique des équations (1) et (3) présentées dans le paragraphe « Modélisation ».

Il est à indiquer que nous avons utilisé ces 4 simulations pour découvrir l'influence de la grandeur physique « Température » sur la force exercée sur la pale de l'aérogénérateur ; ainsi pour approfondir notre travail on a pris des différentes valeurs de la vitesse du vent et de la longueur de la pale de turbine.

La variation de la température se reflète directement sur l'augmentation de la force axiale en lui donnant de différentes amplitudes. Les courbes résultantes de cette variation ont une valeur maximale identique du facteur d'interférence $\alpha = 0.333$.

Pour conclure, on est arrivé à dire que la température joue un rôle principal dans l'augmentation et la diminution de la force axiale en fonction du facteur d'interférence et en prenant en compte d'autres paramètres dont la vitesse du vent dans le site et la longueur de la pale, ce qui nous donne l'aptitude et la capacité de dimensionner les turbines éoliennes qui portent des caractéristiques compatibles avec celles de la force produite par le milieu d'implantation. Notre travail a une importance particulière dans le domaine de l'éolien, puisqu'il va permettre d'éviter plusieurs erreurs du dimensionnement des machines éoliennes et leurs conformités avec les sites choisies.

Références

- [1] C. Marimuthu et V. Kirubakaran, « A CRITICAL REVIEW OF FACTORS AFFECTING WIND TURBINE AND SOLAR CELL SYSTEM POWER PRODUCTION », Int J Adv Engg Res Stud.-March, vol. 143, p. 147, 2014.
- [2] A. A. Koukpedji, B. B. Kounouhewa, E. Agoua, A. Houekpoheha, et J. C. Orou, « Influence de la température, de la pression et de l'humidité relative de l'air sur le potentiel éolien dans la zone côtière du Bénin dans le Golfe de Guinée », Rev. Energ. Renouvelables, vol. 18, no 2, p. 217–226, 2015.
- [3] M. Mohamed LEMINE, L. EL BAKKALI, et A. K. Mahmoud, « Modélisation et Simulation du système de conversion énergétique d'un aérogénérateur », présenté à <http://cpi2015.sciencesconf.org/>, 2015.
- [4] Y. EL KHCHINE, M. SRITI, M. OUARIAGLI « simulation des performances aérodynamiques d'une éolienne à axe horizontal SIMULA », 22ème Congrès Français de Mécanique, Lyon, 24 au 28 Août 2015.

Analyse de la tendance de la recherche scientifique: Modélisation des systèmes par Réseaux de Petri

Omaïma BENATIA

Laboratoire des Techniques Industrielles
Département de génie industriel
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des
Sciences et Techniques
Fès, MAROC
omaima.benatia@usmba.ac.ma

Fouad BELMAJDOUB

Laboratoire des Techniques Industrielles
Département de génie industriel
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des
Sciences et Techniques
Fès, MAROC

Résumé— Dans cet article, nous nous intéressons aux systèmes à événements discrets modélisés par les réseaux de Petri et leurs extensions et nous analysons la méga-data composée des articles publiés dans les quarante dernières années pour déterminer la tendance de la recherche scientifique dans ce domaine. Ce travail va permettre aux chercheurs de choisir l'extension des réseaux de Petri la plus convenable pour modéliser leurs systèmes choisis.

Mots clés—Réseaux de Petri; Systèmes à événements discrets; Tendance de la recherche scientifique; Modélisation.

I. INTRODUCTION

Les systèmes à événements discrets (SED) sont des systèmes dynamiques dont l'espace des états est discret et dont l'évolution est conforme à l'occurrence d'événements physiques à des intervalles de temps éventuellement irréguliers ou inconnus. Ces systèmes sont de plus en plus présents dans de nombreux secteurs d'activité, tels que l'industrie automobile, les systèmes manufacturiers, de télécommunication, aéronautique, etc.

L'ambiguïté réside dans le choix de l'outil le plus adéquat pour la description de ces systèmes. L'outil que nous traitons est les réseaux de Petri qui ont plusieurs extensions et le choix de la plus convenable doit dépendre du type du système: s'il est déterministe ou non déterministe, de la structure de la prise de décision: si elle est centralisée ou décentralisée et de l'outil d'aide à la décision c'est-à-dire si on veut utiliser cet outil dans le control, la supervision, la modélisation, la simulation, le diagnostic...

II. TERMINOLOGIES

Cette section présente quelques rappels des terminologies importantes dans le domaine des systèmes à événements discrets. L'objectif de cette section n'est pas de proposer de nouvelles terminologies, mais de mettre en place l'ensemble des définitions des termes utilisés dans cet article.

1) Système à événements discrets

Un système à événements discrets (DES) est un système dynamique qui évolue en fonction de l'apparition brutale des événements physiques à des intervalles irréguliers éventuellement inconnus. De tels systèmes apparaissent dans des contextes différents allant des systèmes d'exploitation d'ordinateur au contrôle des processus complexes multi-modes.[1]

2) Système déterministe

Un système déterministe est un système qui réagit toujours de la même façon à un événement. L'état du système est décrit par un processus bien définie, c'est-à-dire que, quel que soit ce qui s'est passé auparavant, à partir du moment où le système arrive à un état donné, son évolution sera toujours identique. [2]

3) Système non déterministe

Par opposition à un système déterministe, un système est dit non-déterministe si une ou plusieurs de ses variables de sortie sont des variables aléatoires. Un cadre probabiliste est requis pour l'étude de ces systèmes.

4) Structure centralisée

L'approche centralisée est une approche où il y a un seul module d'analyse ou de décision (superviseur ou diagnostiqueur ...) qui collecte et analyse une information globale venant du procédé. La figure 1 donne un exemple d'une architecture centralisée de diagnostic.

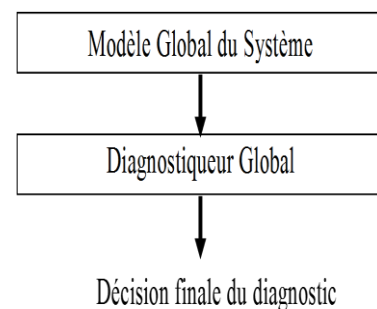


Fig. 1: Structure centralisée de diagnostic

5) Structure décentralisée

L'approche décentralisée est une approche où il y a plusieurs modules élémentaires du même type. Chacun de ces modules (d'analyse ou de décision) collecte une partie de l'information globale. La décision globale est obtenue en effectuant un calcul fonctionnel sur toutes les décisions des modules élémentaires. La figure 2 donne un exemple d'une architecture décentralisée de diagnostic.

6) Réseaux de Petri

Les réseaux de Petri ont été définis en 1962 par Carl Adam Petri. Ils représentent un formalisme puissant pour la modélisation et l'analyse des systèmes à événements discrets comme les systèmes de télécommunication, les réseaux de transports, les systèmes automatisés de production, etc. Leur représentation graphique permet de visualiser d'une manière naturelle le parallélisme, la synchronisation, le partage de ressources et le non-déterminisme. Leur représentation mathématique permet d'établir les équations d'état à partir desquelles il est possible d'apprécier les propriétés du modèle et les comparer au comportement du système modélisé. [3]

Définition : Un réseau de Petri est un graphe biparti constitué de places, de transitions et d'arcs orientés qui relient les transitions aux places et les places aux transitions.

Formellement [4], Un RdP marqué est un quadruplet $PN = (P, T, Pre, Post, M_0)$ tel que :

- P est un ensemble fini et non vide de places.
- T est un ensemble fini et non vide de transitions. Les ensembles P et T sont disjoints $P \cap T = \Phi$.
- Pre est l'application d'incidence avant, telle que $Pre : (P \times T) \rightarrow N$
 $(P_i, T_j) \rightarrow Pre(P_i, T_j) =$ Poids de l'arc reliant la place P_i à la transition T_j .
- $Post$ est l'application d'incidence arrière, telle que : $Post : (P \times T) \rightarrow N$
 $(P_i, T_j) \rightarrow Post(P_i, T_j) =$ Poids de l'arc reliant la transition T_j à la place P_i .
- $M_0 : P \rightarrow N$

$P_i \rightarrow M_0(P_i)$ est le marquage initial de la place P_i .

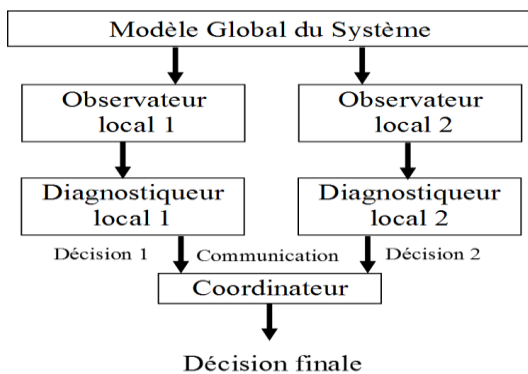


Fig. 2: Structure décentralisée de diagnostic

Plusieurs extensions des réseaux de Petri ont été définies dans la littérature. Les deux principales extensions temporelles des réseaux de Petri sont les réseaux de Petri temporisés [5] et les réseaux de Petri temporels [6]. Autres extensions sont les réseaux de Petri colorés [7], stochastiques [8], Étiquetés [9], interprétés [10], continus [11], hybrides [12], orientés objets [7], etc.

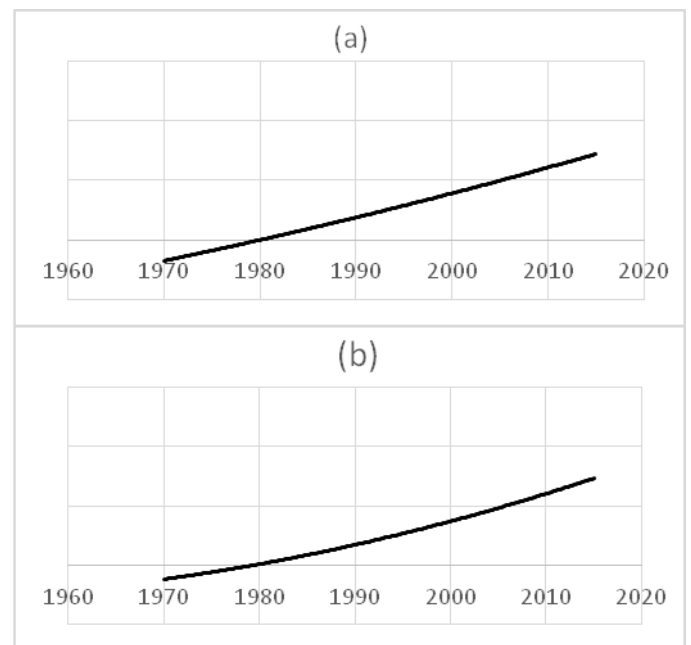
III. SYNTHÈSE

L'importance des systèmes à événements discrets a poussé les chercheurs à découvrir et à développer plusieurs outils de modélisation. Parmi ces outils nous nous intéresserons aux réseaux de Petri qui sont de plus en plus utilisés dans la littérature, et nous analyserons les tendances de la recherche scientifique dans ce domaine.

Pour ce faire, nous avons collecté plus de cinq cents articles publiés pendant les quarante dernières années portant sur les réseaux de Petri et leurs extensions.

Pour simplifier la présentation de nos résultats, nous avons utilisé des graphes qui représentent le nombre d'articles en fonction des années de publication pour chaque extension des réseaux de Petri.

Nous nous sommes intéressés à quatre types de réseaux de Petri qui constituent la tendance de recherche dans le domaine des systèmes à événements discrets (Figure 3): Réseaux de Petri discrets, temporisés et temporels, colorés et stochastiques. Les autres extensions ne sont pas moins importantes mais moins utilisées par rapport aux types précédents.



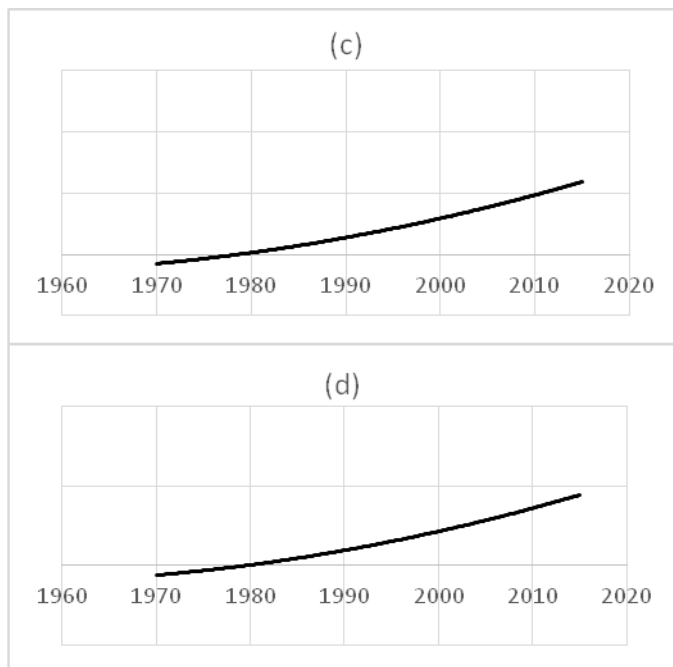


Fig.3: Fréquence de citation des Réseaux de Petri dans la littérature (a) RdP discrets, (b) RdP temporisés et temporels, (c) RdP colorés et (d) RdP stochastiques

Résultat 1 : Comme c'est déjà mentionné, ces graphes représentent juste quatre type de réseaux de Petri parce qu'ils sont traités dans un nombre très important d'articles.

Pour bien cibler le domaine d'application de chaque type, nous les avons classé selon :

- Le type du système (Système déterministe/ non déterministe).
- La structure de la prise de décision (structure centralisée/décentralisée).
- L'outil d'aide à la décision (Modélisation, simulation, supervision, control, surveillance, diagnostic).

A. Réseaux de Petri discrets

1) Système déterministe

Les réseaux de Petri discrets constituent un outil très approprié pour l'étude des systèmes déterministes. La figure 4 représente le nombre d'articles traitant les réseaux de Petri discrets dans les systèmes déterministes en fonction des années de publication.

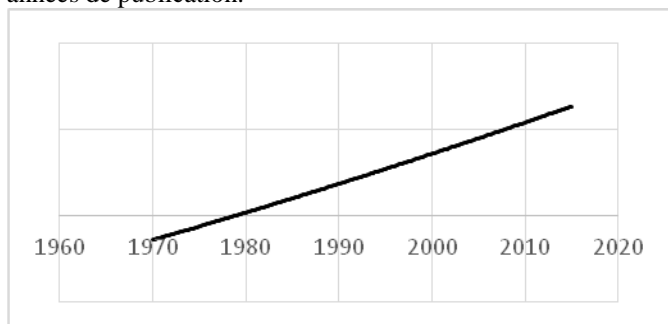


Fig. 4: Tendance de la recherche par RdP discrets pour les systèmes déterministes

L'utilisation des réseaux de Petri discrets pour décrire les systèmes déterministes a connu une hausse régulière depuis les années quatre vingt jusqu'à présent.

Pour bien cibler l'utilité de ce type des réseaux de Petri pour les systèmes déterministes, nous avons tracé des graphes (figure 5) qui représentent le variation du nombre d'articles traitant la modélisation, la supervision, le control et la simulation par réseaux de Petri discrets dans les systèmes déterministes.

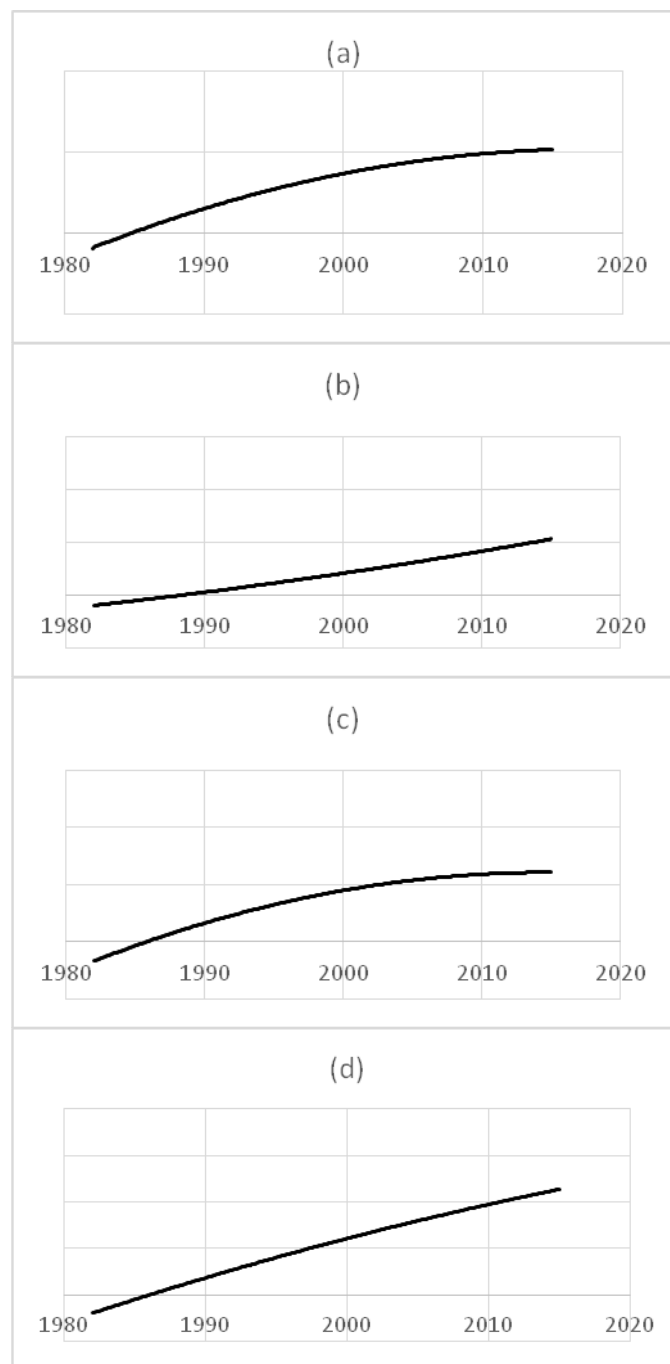


Fig. 5: (a) Modélisation, (b) Supervision, (c) Control et (d) Simulation des systèmes déterministes par RdP discrets

Résultat 2 : La tendance de la recherche scientifique pour la modélisation et le control des systèmes à événements discrets déterministes par réseaux de Petri discrets commence à se saturer, par contre la simulation et la supervision de ces systèmes par réseaux de Petri discrets constituent des axes de recherche très actifs.

2) *Système non déterministe*

De même que pour les systèmes déterministes, les réseaux de Petri discrets sont toujours très utilisés pour les systèmes non déterministes. La figure 6 représente le nombre d'articles traitant les réseaux de Petri discrets dans les systèmes à caractère non déterministe en fonction des années de publication.

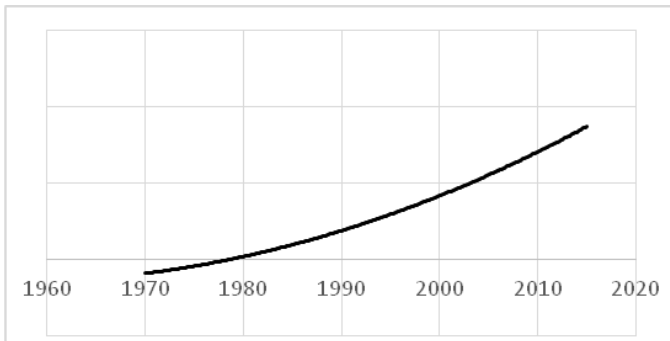


Fig. 6: Tendance de la recherche par RdP discrets pour les systèmes non déterministes

L'étape qui suit est le tracé des graphes (figure 7) qui représentent la variation du nombre d'articles traitant la modélisation, la supervision, la simulation et la surveillance par réseaux de Petri discrets dans les systèmes non déterministes.

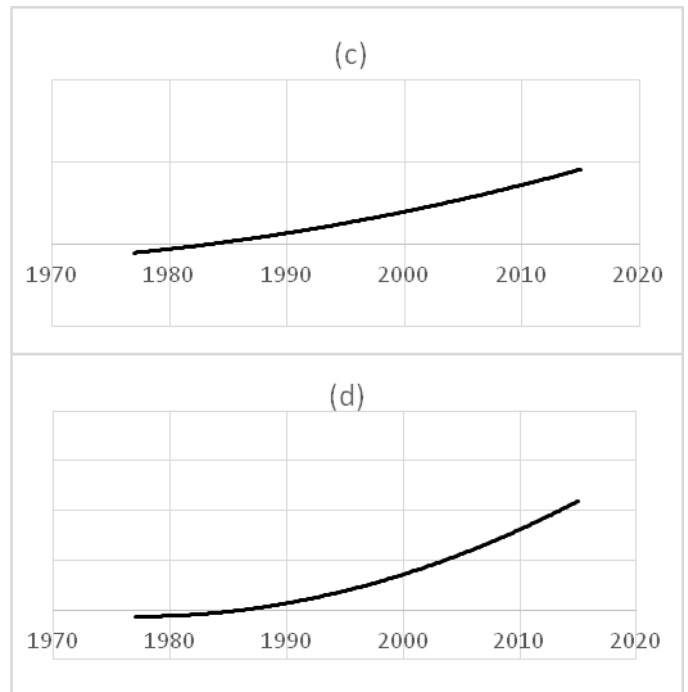


Fig. 7: (a) Modélisation, (b) Supervision, (c) Simulation et (d) Surveillance des systèmes non déterministes par RdP discrets

Résultat 3 : La modélisation, la supervision, la simulation et la surveillance des systèmes à événements discrets non déterministes par réseaux de Petri discrets représentent des tendances de la recherche scientifique.

3) *Structure centralisée*

L'utilisation des réseaux de Petri discrets dans les structures centralisées s'accroît faiblement et elle tend vers la saturation (figure 8).

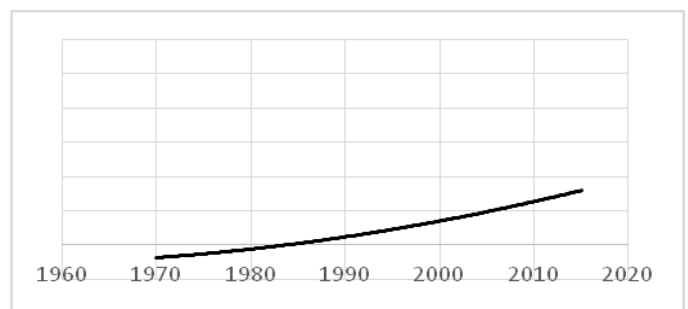
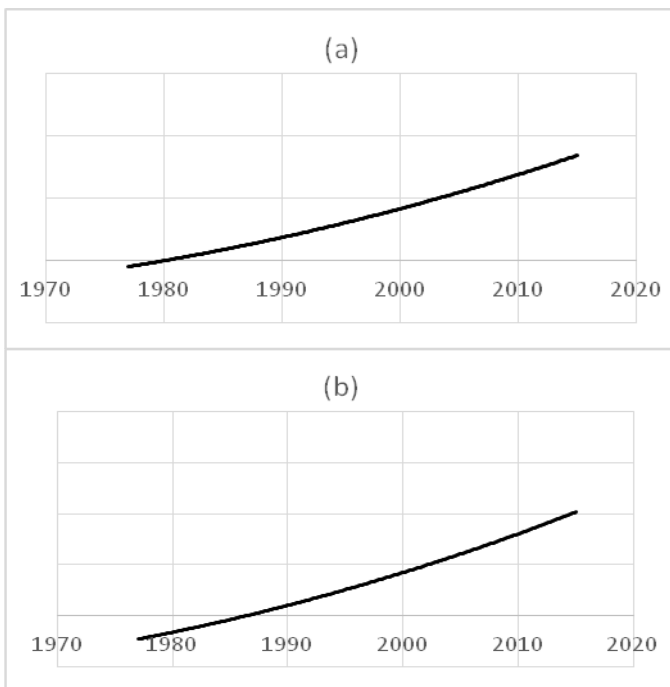


Fig. 8: Tendance de la recherche par RdP discrets dans la structure centralisée

Résultat 4 : La description des systèmes à événements discrets dans des structures centralisées par réseaux de Petri discrets est très peu utilisée par les chercheurs, cela peut être expliqué par la limite de cet outil à décrire cette structure.

4) *Structure décentralisée*

L'utilisation des réseaux de Petri discrets dans les structures décentralisées est en croissance, la figure 9 représente le nombre d'articles traitant les systèmes à événements discrets dans des structures décentralisées par réseaux de Petri discrets.

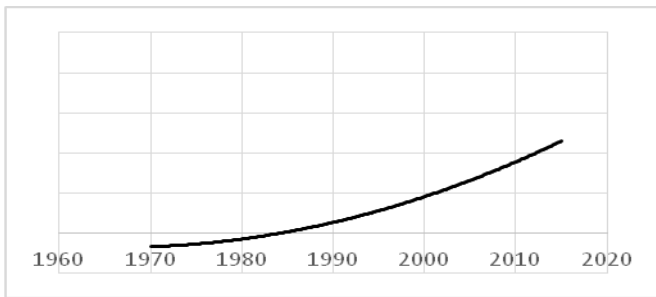


Fig. 9: Tendence de la recherche par RdP discrets dans la structure décentralisée

Résultat 5 : La description des systèmes à événements discrets dans des structures décentralisées par réseaux de Petri discrets constitue une tendance de la recherche scientifique et est considérée comme un centre d'attention des chercheurs.

B. Réseaux de Petri temporisés et temporels

Dans cette section, nous considérons les réseaux de Petri temporisés et les réseaux de Petri temporels parce qu'ils représentent le même concept qui est la prise en compte du temps. Les systèmes à événements discrets qui sont décrits par cet outil sont des systèmes déterministes qui ont une structure centralisée.

L'étude des systèmes à événements discrets par ces réseaux de Petri a connu une croissance très accélérée pendant les vingt dernières années (figure 3). Le nombre d'articles, en fonction des années de publication, représentant la modélisation et le control de ces systèmes par réseaux de Petri temporisés et temporels est représenté dans la figure 10.

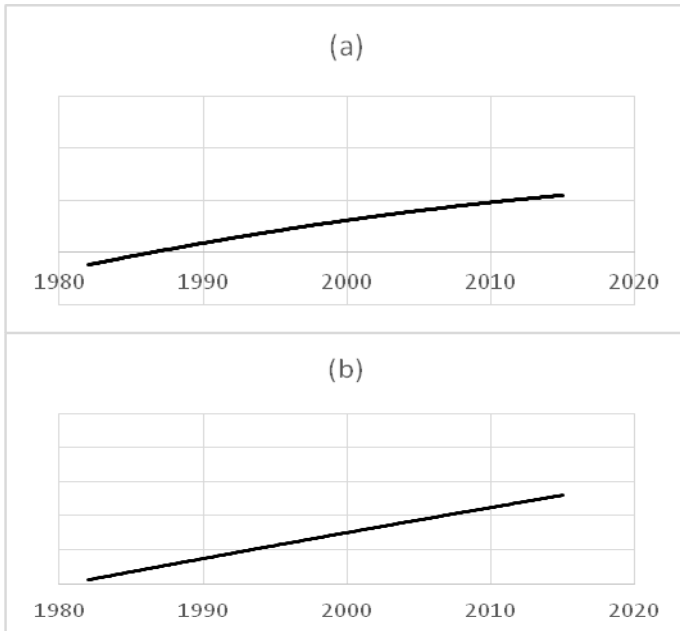


Fig. 10: (a) Modélisation et (b) Control des SED déterministes par RdP temporisés et temporels

Résultat 6 : La modélisation et le control des systèmes à événements discrets déterministes par réseaux de Petri

temporisés et temporels sont deux domaines de recherches qui sont très actifs. Les chercheurs scientifiques s'intéressent de plus en plus à ces domaines vu l'intérêt des réseaux de Petri faisant intervenir la notion du temps.

C. Réseaux de Petri colorés

Les réseaux de Petri colorés ne sont pas très cités par rapport aux réseaux de Petri discrets et aux réseaux de Petri temporisés. Nous avons tracé la variation du nombre d'articles, en fonction des années de publication, traitant cet outil pour la modélisation et le control des systèmes à événements discrets déterministes (figure 11).

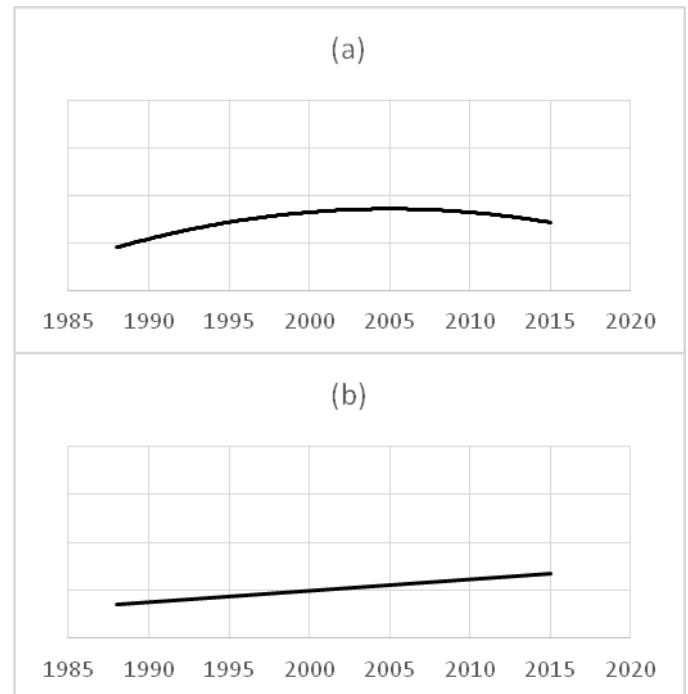


Fig. 11: (a) Modélisation et (b) Control des SED déterministes par RdP colorés

Résultat 7 : En moyenne, il y a un à deux articles publiés chaque année pour la modélisation et le control des systèmes à événements discrets par réseaux de Petri colorés. Cela peut être considéré comme une motivation aux chercheurs pour développer plus cet outil.

D. Réseaux de Petri stochastiques

Les systèmes à événements discrets à caractère non déterministe sont souvent modélisés par les réseaux de Petri stochastiques. La modélisation, le control et la simulation de tels systèmes par ces réseaux de Petri étaient l'objet de quelques articles publiés les vingt cinq dernières années. Le résultat est représenté dans la figure 12.

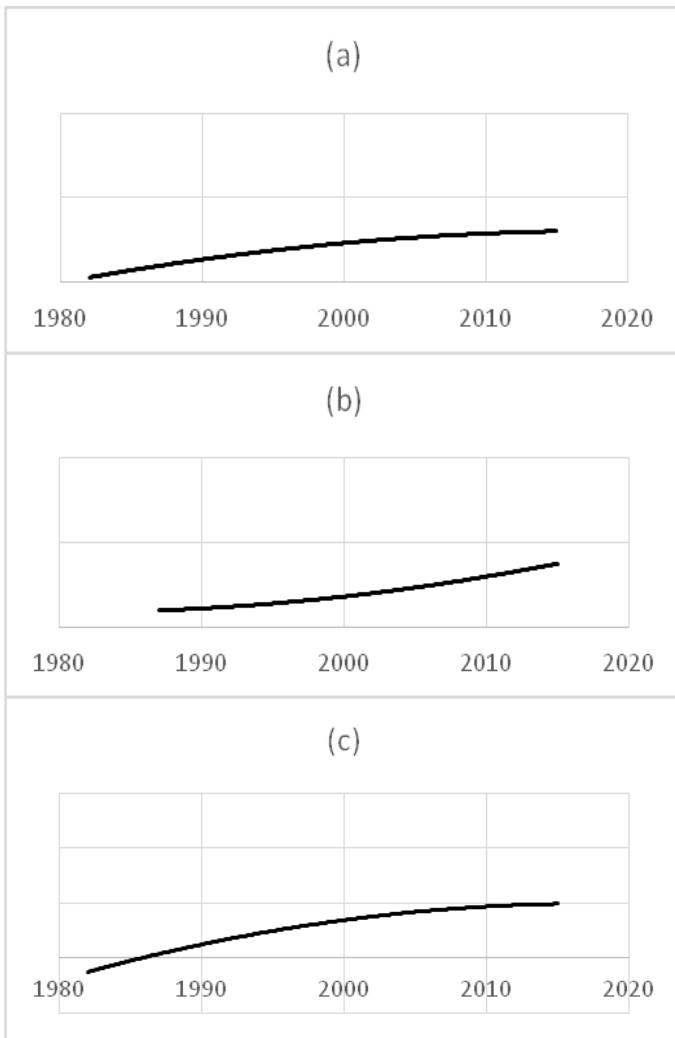


Fig. 12: (a) Modélisation, (b) Control et (c) simulation des SED déterministes par RdP stochastiques

Résultat 8: Les réseaux de Petri stochastiques sont considérés comme un outil très convenable pour la description des systèmes à événements discrets non déterministes. La simulation et le control de ces systèmes par ce type des réseaux de Petri sont des domaines qui attirent l'attention des chercheurs ces dernières années.

IV. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer les tendances de la recherche scientifique des systèmes à événements discrets décrits par les réseaux de Petri et leurs extensions. Nous avons pu déterminer à partir de plus de cinq cents articles publiés au cours des quarante dernières années, les axes de recherche les plus actifs. Ce travail est considéré comme un guide aux chercheurs qui sert à leur faciliter le choix du réseau de Petri le plus convenable à leurs systèmes considérés.

Références

- [1] P. J. Ramadge and W. M. Wonham, "The control of discrete event systems," *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, pp. 81-98, 1989.
- [2] C.-H. Chen and E. Yücesan, "Introduction to discrete event systems: Christos G. Cassandras and Stephane Lafortune; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1999, ISBN: 0-7923-8609-4," ed: Pergamon, 2001.
- [3] P. Bonhomme, "Réseaux de Pétri P-temporels: contributions à commande robuste," 2001.
- [4] L. GHOMRI, "Synthèse de contrôleur de systèmes hybrides à flux continu par réseaux de Petri hybrides," 2012.
- [5] C. Ramchandani, "Analysis of asynchronous concurrent systems by timed Petri nets," 1974.
- [6] P. M. Merlin, "A study of the recoverability of computing systems," 1974.
- [7] C. Lakos, *From coloured Petri nets to object Petri nets*: Springer, 1995.
- [8] Y. Ben, "A Brief Study on Stochastic Petri Net," 2013.
- [9] T. Murata, "Petri nets: Properties, analysis and applications," *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, pp. 541-580, 1989.
- [10] P. Azema, G. Juanele, E. Sanchis, and M. Montbernard, "Specification and verification of distributed systems using prolog interpreted petri nets," in *Proceedings of the 7th international conference on Software engineering*, 1984, pp. 510-518.
- [11] R. David and H. Alla, "Autonomous and timed continuous Petri nets," in *Advances in Petri Nets 1993*, ed: Springer, 1991, pp. 71-90.
- [12] J. Le Bail, H. Alla, and R. David, "Hybrid petri nets," in *European Control Conference*, 1991.

Fluidification of Stochastic Petri nets by means of Continuous Petri nets

N. EL AKCHIOUI

FSTH

FSTH – University Mohamed premier

Oujda, Morocco

nabil.elakchioui@yahoo.fr

N. BENAYA

FSTH

FSTH – University Mohamed premier

Oujda, Morocco

Nabil.benayai@yahoo.fr

Abstract—Reliability analysis is often based on stochastic discrete event models like Markov models or stochastic Petri nets. For complex dynamical systems with numerous components, analytical expressions of the steady state are tedious to work out because of the combinatory explosion with discrete models. The contribution of this paper is to approximate the steady state of mono T-semiflow stochastic nets by mean of continuous Petri nets according to a modification of the maximal firing speed vector definition. This result is then used to accelerate convergence of stochastic simulations.

Keywords— Fluidification, stochastic Petri nets, continuous Petri nets, steady state, reliability analysis.

I. INTRODUCTION

Reliability analysis is a major challenge to improve the safety of industrial processes. For complex dynamical systems with numerous interdependent components, such studies are mainly based on stochastic discrete event models like Markov models or Stochastic Petri Nets (SPN) (Molloy 1981, 1982). Such models are mathematically well founded and can be investigated in order to work out either analytical or numerical simulations. In case of large systems both studies become tedious particularly when rare events (i.e. with weak occurrence probability) are considered.

The aim of this paper is to approximate the steady state of SPN or Markov models by mean of Continuous Petri Nets (CPN). The fluidification of discrete Petri nets has been recently investigated mainly for performance evaluation and control applications (David et al., 1992; Silva and Recalde, 2004; Julvez et al., 2005). It is well known that fluidification leads to some unexpected results and numerous structural and behavioural properties are not preserved with fluidification. In general case, the steady state of a SPN cannot be approximated by the asymptotic behaviour of the corresponding continuous Petri net.

The contribution of this paper is to show that, for a specific class of Petri nets (mono T-semiflow nets), and according to a modification of the maximal firing speeds, a proportionality relationship exists between both behaviours. This property is then used to accelerate convergence of stochastic simulations.

SPN and CPN are combined for that purpose: stochastic simulation is worked out during a short time window of duration T . Then, the estimated values of stochastic average throughputs and mean markings are used to define the maximal firing speed vector of CPN. The asymptotic behaviour of CPN is shown to give an improved approximation of the stochastic steady state.

The paper has four sections. Section two introduces SPN and CPN. Section three is about the analytic solution of steady state for SPN. Section four introduces the fluidification of PN and the problem is also stated. The fluidification of mono T-semiflow SPN is discussed. Convergence acceleration and firing speed adaptation are investigated.

II. STOCHASTIC AND CONTINUOUS PETRI NETS

A. Petri nets

A Petri net (PN) is defined as $\langle P, T, W^{PR}, W^{PO} \rangle$ where $P = \{P_i\}$ is a not empty finite set of n places and $T = \{T_j\}$ is a not empty finite set of q transitions. $W^{PR} = (w^{PR}_{ij}) \in (\mathbb{Z}^+)^{n \times q}$ is the pre-incidence matrix (w^{PR}_{ij} is the weight of arc from place P_i to transition T_j) and $W^{PO} = (w^{PO}_{ij}) \in (\mathbb{Z}^+)^{n \times q}$ is the post-incidence one (w^{PO}_{ij} is the weight of arc from transition T_j to place P_i) (David et al., 1992). The PN incidence matrix W is defined as $W = W^{PO} - W^{PR} \in (\mathbb{Z})^{n \times q}$. The PN marking M is an application from the set of places P to the set of non negative integer numbers \mathbb{Z}^+ such that, for each place $P_i \in P$, $m_i = M(P_i)$ is the number of tokens in place P_i . M_I is the PN initial marking.

B. Stochastic Petri nets

A Stochastic PN (SPN) is defined by a timed PN whose transitions firing periods are characterized by random distributions. This model has been introduced by Molloy (Molloy 1981, 1982), and several extensions have been developed (Ajmone and Chiola 1987; Diaz et al., 2001) for the reliability analysis of repairable systems. A SPN, $\langle PN, \mu \rangle$, is a PN associated with a firing rate vector $\mu = (\mu_j) \in (\mathbb{R}^+)^q$. SPN Each transitions T_j is characterized by the firing rate μ_j so that $\mu_j \cdot dt$ is the probability that the transition T_j will fire between t

and $t+dt$ when the transition T_j has been enabled, with degree λ_j at t . The marking process of a SPN will be characterized according to the PN incidence matrices, the initial marking, the firing rates, the firing policy, the server policy and the execution policy (Bobbio et al., 1998, Diaz et al., 2001). SPN that are considered in this paper satisfy the following assumptions:

(H1) the firing policy is a race policy: the transition whose firing time elapses first is assumed to be the one that will fire next.

(H2) the server policy is of type infinite server: the minimal period of each transition T_j is defined with a stochastic duration which is characterized according to an exponential distribution of varying parameter $\text{round}(n_j(M)) \cdot \mu_j$. The function $n_j(M)$ is the enabling degree of transition T_j for marking M :

$$n_j(M) = \min (m_i / w_{P_i j}) \text{ for all } P_i \in {}^\circ T_j \quad (1)$$

where ${}^\circ T_j$ stands for the set of T_j upstream places and “round(.)” is the integer part of (.).

(H3) the execution policy is of type «resampling memory»: at the entrance in a marking, the remaining firing time of all transitions that were enabled is reset.

Continuous Petri nets

Continuous Petri Nets (CPN) have been developed in order to provide a continuous approximation of the discrete behaviours of discrete PN (David et al., 1992; Silva and Recalde, 2004). A CPN is defined as $\langle PN, X_{max} \rangle$ where PN is a Petri net and $X_{max} = (x_{max_j}) \in (\mathbf{R}^+)^q$ is the vector of maximal firing speeds. The marking $m_i(t) \in \mathbf{R}^+$ of each place P_i is a non-negative real valued function of time and each transition firing is a flow of marks in continuous PN. $X(t) = (x_j(t)) \in (\mathbf{R}^+)^q$ is the firing speeds vector at time t . The marking evolution is given by (2):

$$dM(t) / dt = W.X(t) \quad (2)$$

Finite server (i.e. constant speeds) and infinite server (i.e. variable speeds) semantics exist for CPN. In this paper only the infinite server semantic is considered: $X(t)$ depends continuously on the marking of the places according to (3):

$$x_j(t) = x_{max_j} \cdot n_j(M) \quad (3)$$

III. STEADY STATES OF SPN

For live SPN that satisfy hypotheses (H1) to (H3) and with a finite number of states in the reachability graph, the marking

process is mapped into a Markov model with state space isomorphic to the reachability graph of the SPN model (Molloy, 1982, Bobbio et al., 1998). In that case the steady state of SPN can be worked out according to the steady state probabilities of the Markov model.

Let define $X_{ats} = (x_{ats_j}) \in (\mathbf{R}^+)^q$ as the average throughputs vector and $M_{mms} = (m_{mms_i}) \in (\mathbf{R}^+)^n$ as the mean markings vector of SPN and $\Pi_{ss} = (\pi_{ss_k}) \in [0, 1]^{1 \times N}$ as the steady state probabilities vector of the associated Markov model with N states. Let us also define $A(\mu) \in (\mathbf{R})^{N \times N}$ as the transition matrix of the Markov model (obtained according to the reachability graph $R(PN, M_1)$ of SPN and to the firing rate vector μ) and $\mathbf{1}_N = (1, \dots, 1)^T \in (\mathbf{R}^+)^N$ as the column vector of size N with all entries equal to 1. It is well known that Π_{ss} is the single solution of equations (4) (Rausand and Hoyland, 2004):

$$\begin{aligned} \Pi_{ss} \cdot A(\mu) &= 0 \\ \Pi_{ss} \cdot \mathbf{1}_N &= 1 \end{aligned} \quad (4)$$

As a consequence, X_{ats} and M_{mms} are obtained according to equations (5) and (6):

$$x_{ats_j} = \mu_j \cdot \left(\sum_{k=1 \dots N} n_j(M_k) \cdot \pi_{ss_k} \right) \quad (5)$$

$$m_{mms_i} = \sum_{k=1 \dots N} m_{k_i} \cdot \pi_{ss_k} \quad (6)$$

where $M_k = (m_{ki}) \in (\mathbf{R}^+)^n$ stands for the marking vector corresponding to the state k of the Markov model.

This method gives an analytical solution of the SPN steady state in case of ergodic Markov models, but requires the computation of the transition matrix $A(\mu)$ and as a consequence the reachability graph $R(PN, M_1)$ of the SPN. For large systems, the computational time and memory requirements necessary to work out $R(PN, M_1)$ become important as long as the number N of states increases exponentially. In that sense, SPN can be considered as a stochastic estimator for the Markov model. The advantage of this estimator is that the determination of $R(PN, M_1)$ is no longer required, the drawback is the slow convergence of the stochastic estimator, particularly in case of rare events.

The example of a simple manufacturing system (figure 1) with 5 machines (i.e. T_1 to T_5), 3 tools with limited resources (i.e. P_1 to P_3) and 2 buffers with limited capacities (i.e. $\{P_4, P_5\}$ and $\{P_6, P_7\}$) illustrates this difficulty. The PN model of this system has 1 T-semiflow $x = (2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 1)^T$ and 5 P-semiflows $y_1 = (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$, $y_2 = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0)$, $y_3 = (0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1)$, $y_4 = (1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1)$ and $y_5 = (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1)$. As a consequence only the flow of transition T_5 and the marking of places P_1 , P_2 , P_8 and P_9 will be considered. Other flows and markings are given by (7):

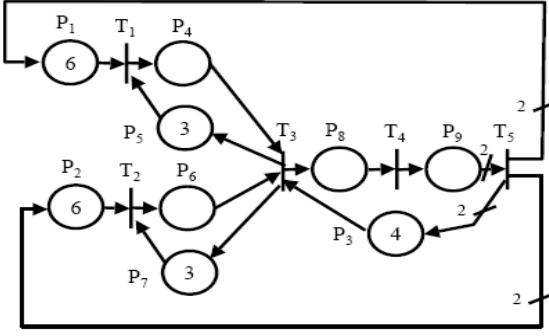


Fig. 1. A simple manufacturing system with firing rate vector $\mu = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$ and initial marking $M_1 = k.(6 \ 6 \ 4 \ 0 \ 3 \ 0 \ 3 \ 0 \ 0)^T$ (Silva and Recalde, 2004).

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x_2 = x_3 = x_4 = 2 \cdot x_5 \\
 m_4 &= y_4 \cdot M_1 - m_1 - m_8 - m_9 \\
 m_6 &= y_5 \cdot M_1 - m_2 - m_8 - m_9 \\
 m_3 &= y_3 \cdot M_1 - m_8 - m_9 \\
 m_5 &= y_1 \cdot M_1 - y_4 \cdot M_1 + m_1 + m_8 + m_9 \\
 m_7 &= y_2 \cdot M_1 - y_5 \cdot M_1 + m_2 + m_8 + m_9
 \end{aligned} \quad (7)$$

Equations (7) hold for SPN and CPN. Steady state markings and flows are reported in table 1 with respect to initial marking.

Table 1. Number of states, average throughputs and mean markings of SPN from fig. 1 in function of k

k	N	$X_{ats\ 5}$	$m_{ats\ 1}$	$m_{ats\ 2}$	$m_{ats\ 8}$	$m_{ats\ 9}$
1	205	0.50	1.75	1.75	1.00	1.48
2	1885	1.13	3.51	3.51	2.25	2.75
3	7796	1.77	5.20	5.21	3.54	4.07
4	22187	2.42	6.97	6.91	4.84	5.36
...
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

IV. FLUIDIFICATION OF SPN

A. Fluidification of PN

The steady state of a SPN $= \langle PN, \mu \rangle$ and the one resulting of a CPN $= \langle PN, X_{max} \rangle$ with same structure, initial marking and $X_{max} = \mu$ are in general case not identical. For example, the steady state of the PN in figure 1 considered as continuous is given in table 2. It can also be noticed that the difference between SPN and CPN steady state decreases with respect to the marking. More generally, a PN can be live as discrete and non-live as continuous. In a similar way, a discrete bounded system may be unbounded as continuous (Silva and Recalde 2004). Moreover, like in discrete nets, the throughput of a CPN does not fulfil in general any monotonicity property, neither with respect to the initial marking, nor with respect to the structure of the net, nor with respect to the transitions rates. (Julvezet *et al.*, 2005). The throughput of a CPN is not in general an upper bound of the throughput of the discrete PN (Julvezet *et al.*, 2005).

Table 2. Average throughputs and mean markings of CPN from fig. 1 in function of k

k	$X_{atc\ 5}$	$m_{atc\ 1}$	$m_{atc\ 2}$	$m_{atc\ 8}$	$m_{atc\ 9}$
1	0.67	1.67	1.67	1.33	1.33
2	1.33	3.33	3.33	2.67	2.67
3	2	5	5	4	4
4	2.67	6.67	6.67	5.33	5.33
...
∞	∞	∞	∞	∞	∞

Some results exist to find upper bounds of the steady state for CPN and also for discrete PN according to the resolution of linear programming problems (Silva and Recalde, 2004). But no comparison exists between both upper bounds (discrete and continuous ones). Another promising solution is to consider subclasses of PN structures. Mono T-Semiflows nets (MTS) are of particular interest as long as MTS are conservative and have a single minimal T-semiflows $x \in (\mathbb{Z}^+)^q$ (i.e. $W \cdot x = 0$; the set of non zero entries of x is not a proper superset of the support of any other semiflow and the g.c.d of x entries is 1) whose support contains all the transition ($x > 0$). As a consequence, for MTS, the flow in the steady state is proportional to x and an analytical expression of the asymptotic flow X_{atc} can be stated according to the CPN structure and maximal firing speed vector (Julvezet *et al.*, 2005). For neutral strongly connected state graphs CPN, average throughputs and mean marking are also obtained according to the study of elementary circuits and T-coverture of the net (Kara *et al.*, 2008). At last, let us notice the discussion according to a local approximation of the SPN (Vazquez *et al.*, 2008) for join-free SPN and CPN.

B. Problem statement

The aim of this section is to provide some theoretical and numerical tools to approximate the steady state of a given SPN using the asymptotic behaviour of a CPN. When the structure, initial marking and transition rate are fixed, the steady states of SPN and CPN are generally not identical. The problem will be relaxed regarding the definition of the maximal firing speed of CPN and we study if the mean markings and average throughputs of a given SPN $= \langle P, T, W_{PR}, W_{PO}, M_1, \mu \rangle$ that satisfies assumptions H1 to H3 can be approximated by the asymptotic behaviour of a CPN $= \langle P, T, W_{PR}, W_{PO}, M_1, X_{max} \rangle$ with infinite server semantic. Fluidification of MTS PN is considered in section 4.3. Convergence accelerator for stochastic estimator are explored in section 4.4 (X_{max} is assumed to be constant) and firing speed adaptation is investigated in section 4.5 (X_{max} is assumed to be function of time).

C. Fluidification of MTS SPN

Let define the average throughput vector (i.e. asymptotic firing speeds vector) $X_{atc} = (x_{atc\ j}) \in (\mathbb{R}^+)^q$ and the mean marking (i.e. asymptotic marking vector) $M_{mnc} = (m_{mnc\ i}) \in (\mathbb{R}^+)^n$ of CPN. Similarly, $X_{ats} = (x_{ats\ j}) \in (\mathbb{R}^+)^q$ refers to the average throughput and $M_{mms} = (m_{mms\ i}) \in (\mathbb{R}^+)^n$ refers to the mean marking of SPN. In the following we suppose that the considered CPN and SPN have steady states (i.e. a stationary average throughput and a stationary mean marking).

Lemma 1: If a SPN (resp. CPN) has a steady state, then $W.X_{ats} = 0$ (resp. $W.X_{atc} = 0$)

Proof: If SPN has a steady state, then for each place P_i , the mean marking $m_{mms\ i}$ is stationary and leads to:

$$\sum_{j=1 \dots q} w_{ij} \cdot x_{ats\ j} = 0 \quad (8)$$

As a conclusion $W.X_{ats} = 0$. The proof is similar for CPN. A proof can also be found in (Domogodin and Giua, 2002).

Let consider a SPN $= \langle P, T, W_{PR}, W_{PO}, M_I, \mu \rangle$, define the CPN $(X_{ats}, M_{mms}) = \langle P, T, W_{PR}, W_{PO}, M_I, X_{max} \rangle$ with infinite server semantic and:

$$x_{max\ j} = w_{ij}^{PR} \cdot (x_{ats\ j}) / (m_{mms\ i}) \text{ where } P_i = {}^\circ T_j$$

$$m_{mms\ i} / w_{ij}^{PR} = \min (m_{mms\ k} / w_{kj}^{PR}) \text{ for all } P_k \in {}^\circ T_j \quad (9)$$

CPN (X_{ats}, M_{mms}) has the same structure and initial marking as SPN and the maximal firing speeds are defined according to the steady state of the SPN.

Lemma 2: The asymptotic firing speeds vector X_{atc} and marking vector M_{mmc} of MTS CPN (X_{ats}, M_{mms}) satisfy equation (10):

$$\text{For all } T_j, \frac{x_{atc\ j}}{x_{ats\ j}} = \frac{m_{mmc\ i}}{m_{mms\ i}} = \alpha \quad (10)$$

$$\text{with } m_{mms\ i} / w_{ij}^{PR} = \min (m_{mms\ k} / w_{kj}^{PR}) \text{ for all } P_k \in {}^\circ T_j.$$

Equation (10) means that for all transitions T_j , the ratios of average throughputs $x_{atc\ j} / x_{ats\ j}$ are identical and equal to the ratios of mean markings $m_{mmc\ i} / m_{mms\ i}$ of the T_j input places P_i that drive the asymptotic behaviour of transitions T_j . This property will be used in next section to accelerate convergence.

Proof: For all transitions T_j , the asymptotic firing speed x_{atc} satisfies equation (2) and is given by:

$$x_{atc\ j} = (w_{ij}^{PR}) \cdot (x_{ats\ j}) / (m_{mms\ i}) \cdot \min (m_{mmc\ k} / w_{kj}^{PR})$$

for all $P_k \in {}^\circ T_j$. For join free CPN, the result is obvious: $x_{atc\ j} = (w_{ij}^{PR}) \cdot (x_{ats\ j}) / (m_{mms\ i}) \cdot (m_{mmc\ i} / (w_{ij}^{PR})) = (x_{ats\ j}) \cdot (m_{mmc\ i}) / (m_{mms\ i}) = \alpha_i \cdot x_{ats\ j}$ with $P_i = {}^\circ T_j$. Moreover the parameters α_i are identical because the considered CPN is MTS. Equation (10) is obtained as a consequence.

For non join free but MTS CPN, all candidates for asymptotic firing speeds vector X_{atc} will satisfy: $X_{atc} = \alpha \cdot X_{ats}$. As a consequence we have: $x_{atc\ j} / x_{ats\ j} = \min (m_{mmc\ k} / w_{kj}^{PR}) \cdot (w_{ij}^{PR}) / (m_{mms\ i}) = \alpha$ for all $P_k \in {}^\circ T_j$, and for all $j = 1, \dots, q$. A necessary condition to be satisfied by the mean markings of CPN is $\min (m_{mmc\ k} / w_{kj}^{PR}) = \min (m_{mms\ k} / w_{kj}^{PR})$ for all $P_k \in {}^\circ T_j$ and for all $j = 1, \dots, q$.

For the example described in fig.1, $\alpha = 1$: the steady state of the SPN can be obtained according to a CPN with maximal firing speed vector: $X_{max} = (0.81, 0.81, 0.65, 1, 0.67)^T$ (for example $x_{max\ 5} = w_{95}^{PR} \cdot (x_{ats\ 5}) / (m_{mms\ 9}) = 2.0.5 / 1.48 = 0.67$). Convergence of the CPN markings and throughputs is

illustrated on figures 2 and 3, evolutions (solid lines) can be compared with SPN simulations (dashed lines).



Fig. 2. Throughput evolution $X_{atc}(t)$ and $X_{ats}(t)$ of CPN (solid line) and SPN (dashed line) in function of time, for example of fig. 1.

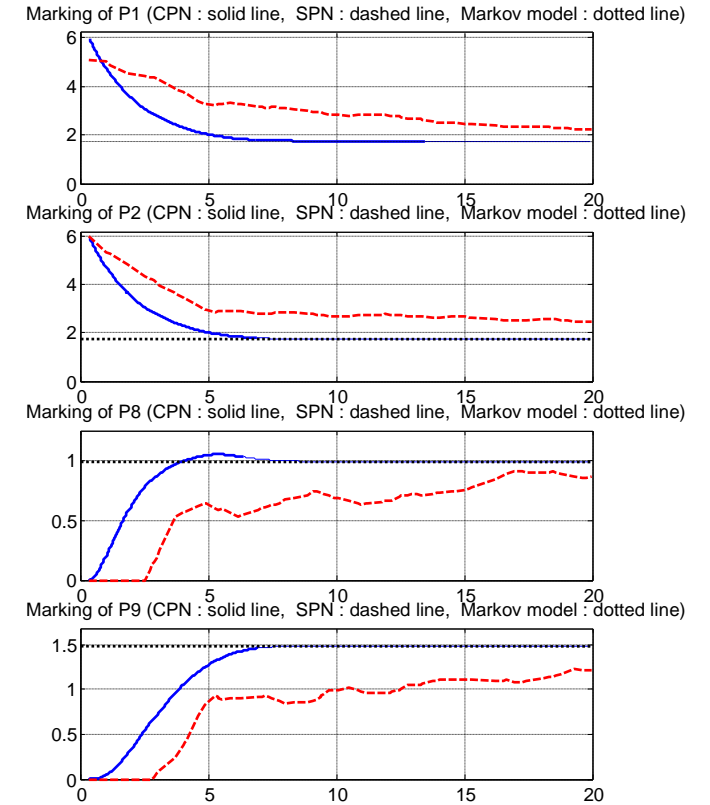


Fig. 3. Markings evolution $M_{mmc}(t)$ and $M_{mms}(t)$ of CPN (solid line) and SPN (dashed line) in function of time for example of fig. 1.

D. Convergence acceleration

At a first glance, the use of CPN (X_{ats}, M_{mms}) seems to have a limited interest as long as the average throughputs and mean markings of the stochastic discrete model are required in order to work out X_{max} . But, the preceding result can be used in order to accelerate the convergence of stochastic simulations. The idea is to replace in equation (9) the exact average throughputs X_{ats} and mean markings M_{mms} resulting

from the analysis of the Markov model by their estimated values $X_{ats}(T)$ and $M_{mms}(T)$ resulting from SPN simulation during a (short) time window of duration T and then to stop SPN simulation and to work out analytically the CPN steady state with an approximated maximal firing speed vector. The figures 4 and 5 depict the quadratic errors EX and EM with respect to X_{ats} (i.e. $EX = (X_{ats} - X_{atc})^T \cdot (X_{ats} - X_{atc})$) and M_{mms} (i.e. $EM = (M_{mms} - M_{mmc})^T \cdot (M_{mms} - M_{mmc})$) worked out over the throughputs of all transitions and over the marking of all places. The errors obtained with CPN steady state calculation (solid lines) are nearly ever lower than the one obtained without CPN (dashed lines). In other words, the CPN steady state calculation can be used to accelerate the convergence of average throughputs and mean markings estimation. The gain in rapidity gr is about 2 to provide the same accuracy and the gain in precision gp is also about 2 for the same simulation duration.

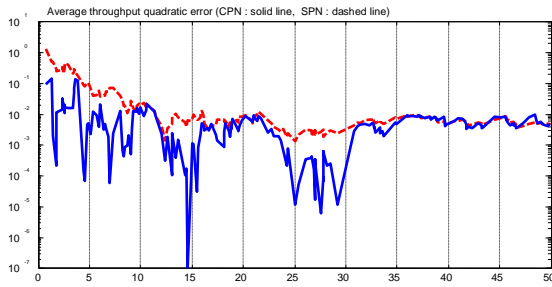


Fig. 4. Quadratic error on average throughputs for CPN (solid line) and SPN (dashed line) in function of time.

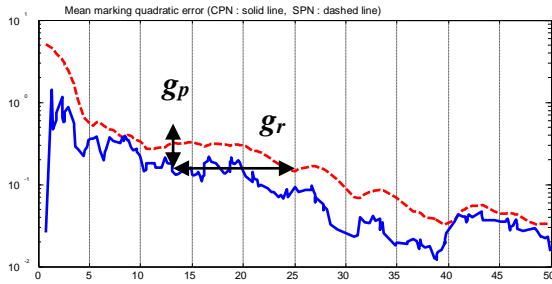


Fig. 5. Quadratic error on mean markings for CPN (solid line) and SPN (dashed line) in function of time.

E. Firingspeed adaptation

When the steady state of SPN is unknown and cannot be estimated, the convergence acceleration described in section 4.4 is no more applicable. In that case, the maximal firing speed vector X_{max} can be considered as a function of time and adapted with equation (11) in order to compensate the error on the firing speeds and markings:

$$\dot{X}_{max} = \eta \cdot \text{diag}(\mu) \cdot \left((W^T) \cdot (M_{mms} - M_c) + (X_{ats} - X_c) \right) \quad (11)$$

under the constraint $X_{max} \geq 0$, where η is the adaptation parameter arbitrary fixed to 0.1, $\text{diag}(\mu) \in (R^+)^q \times q$ is the diagonal matrix with SPN firing rates.

Consider for example the SPN described in fig.6 (Julvez *et al.* 2005). This PN has 1 T-semiflow $x = (1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$ and 2 P-semiflows $y_1 = (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1)$, $y_2 = (1 \ 1 \ 2 \ 1 \ 0)$. As a consequence only the flow of transition T_1 and the marking of places P_1 , P_2 and P_4 will be considered. The corresponding Markov model has 31 states and leads to steady state detailed in table 3. In the same table are also reported the steady state obtained for CPN with $X_{max} = \mu$ (CPN1) and with X_{max} given by equation (9) (CPN2).

Table 3. Average throughputs and mean markings of SPN and CPN from fig. 6.

	$x_{at \ 1}$	$m_{at \ 1}$	$m_{at \ 2}$	$m_{at \ 4}$
SPN	0.80	1.03	0.80	3.01
CPN1	0.54	0.54	0.54	3.82
CPN2	1.33	1.70	1.33	1.70

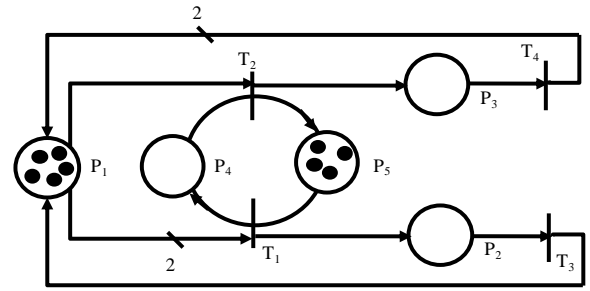


Fig. 6. An SPN with firing rate vector $\mu = (3 \ 1 \ 1 \ 10)^T$ and initial marking $MI = (5 \ 0 \ 0 \ 0 \ 4)^T$ (Julvez *et al.* 2005).

One can notice that the average throughputs and mean markings of CPN2 verify the proportionality relations (10):

$$\alpha = 1.6582 = \frac{x_{atc \ j}}{x_{ats \ j}} = \frac{m_{mmc \ 1}}{m_{mms \ 1}} = \frac{m_{mmc \ 2}}{m_{mms \ 2}} = \frac{m_{mmc \ 3}}{m_{mms \ 3}}, \quad j = 1, \dots, 4.$$

Let us notice that place P_4 is not concerned in the previous relation because $m_{mms \ 4} / w_{42}^{PR} > m_{mms \ 1} / w_{12}^{PR}$. This relation is not verified in the case of CPN1. Marking and troughput evolutions are depicted in figures 7 and 8.

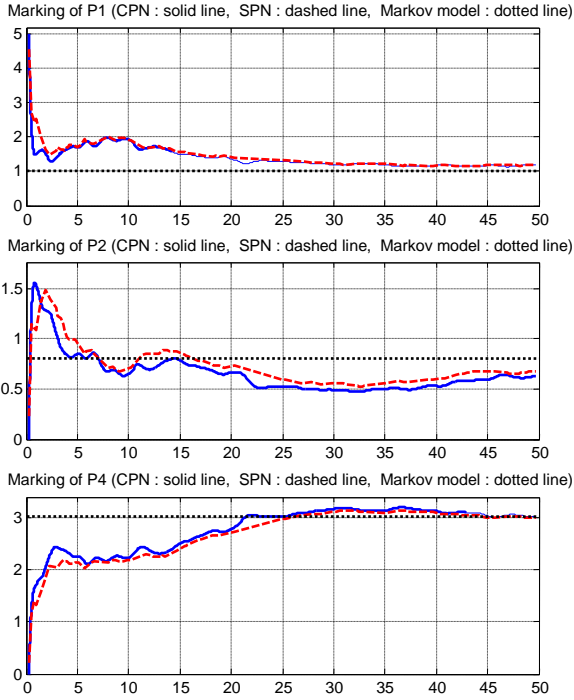


Fig. 7. Markings evolution of CPN (solid line) and SPN (dashed line) in function of time for example of fig. 6.

An algorithm identical to the one proposed in section 4.4 can be used to accelerate the convergence of the stochastic estimator of the average throughputs X_{ats} and mean markings M_{mms} of the Markov model. The adaptation parameter provided by equation (10) and depicted in fig. 9 is worked out online with estimation $X_{ats}(T)$ and $M_{mms}(T)$ of X_{ats} and M_{mms} . Then, SPN simulation is stopped and the CPN steady state is worked out. The figures 10 and 11 depict the quadratic errors E_X and E_M with respect to X_{ats} and M_{mms} .

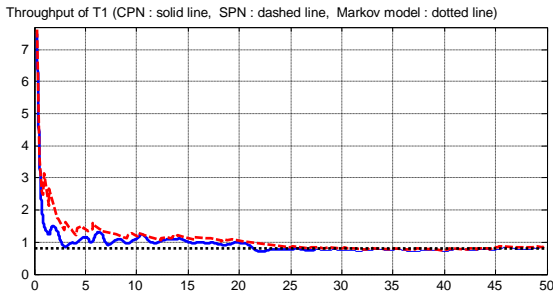


Fig. 8. Throughput evolution of CPN (solid line) and SPN (dashed line) in function of time for example of fig. 6.

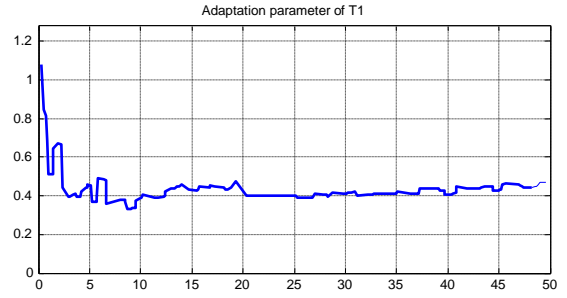


Fig. 9. Adaptation parameter $x_{\max 1} / \mu_1$ for example of fig. 6.

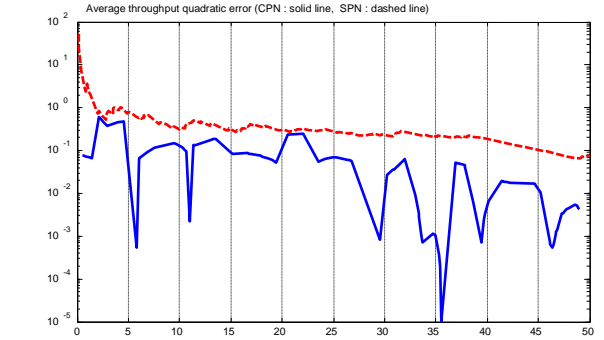


Fig. 10. Quadratic error E_X for CPN (solid line) and SPN (dashed line) in function of time.

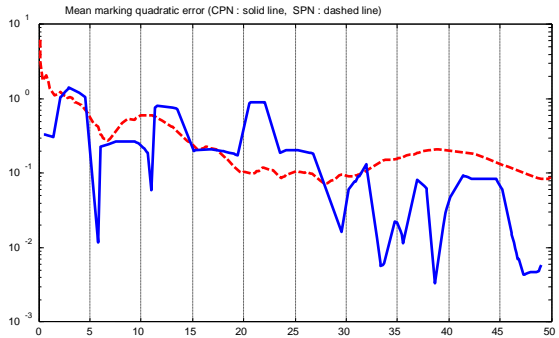


Fig. 11. Quadratic error E_M for CPN (solid line) and SPN (dashed line) in function of time.

V. CONCLUSIONS

In this paper, MTS are considered because this kind of PN have been proved to have a unique parameter α . Then the convergence of SPN to steady state has been accelerated thanks to CPN. The maximal firing speed vector of CPN has been defined according to the SPN average throughputs and mean markings. As long as these values are unknown, the exact values are estimated thanks to a SPN simulation over a short time interval. Two solutions are investigated. The first solution is to define the maximal firing speeds as constant values and the second one is to define these speeds as time varying parameters. Both solutions can be used for convergence acceleration.

In our future works, we will continue our investigation about SPN steady state approximation by means of CPN

References

- [1] Ajmone Marsan M., Chiola G. (1987) On Petri nets with deterministic and exponentially distributed firing times, *Advances in Petri nets* (Rozenberg G.), Springer Verlag, pp. 132- 145.
- [2] Bobbio A., Puliafito A., Telek M., Trivedi K. (1998) Recent Developments in Stochastic Petri Nets, *Journal of Circuits, Systems, and Computers*, Vol. 8, No. 1, Feb., pp. 119--158.
- [3] David R., Alla H., (1992) *Petri nets and grafcet – tools for modelling discrete events systems*, Prentice Hall, London.
- [4] Demongodin I., Giua A., (2002) Some time analysis methods for continuous and hybrid Petri nets, *IFAC World Congress*, Barcelona, Spain.
- [5] Diaz M., (2001) *Les réseaux de Petri : modèles fondamentaux*, Hermes, Paris.
- [6] Júlvez G., Recalde L. Silva M. (2005) Steady-state performance evaluation of continuous mono-T-semiflow Petri nets, *Automatica*, Vol. 41, no. 4, pp. 605-616.
- [7] Kara R., Loiseau J.J., Djennoune S. (2008) Quantitative analysis of continuous weighted marked graphs, *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, Vol. 2, pp. 1010_1020.
- [8] Molloy M.K. (1981) On the integration of delay and throughput in distributed processing models, Ph. D, UCLA, Los Angeles, USA.
- [9] Molloy M.K., (1982) Performance analysis using stochastic Petri nets, *IEEE Transactions on Computers C*, vol. 31, pp. 913 – 917.
- [10] Rausand M. and Hoyland A. (2004), *System reliability theory: models, statistical methods, and applications*, Wiley, Hoboken, New Jersey.
- [11] Silva M. and Recalde L. (2004) On fluidification of Petri Nets: from discrete to hybrid and continuous models, *Annual Reviews in Control*, Vol. 28, no. 2, pp. 253-266.
- [12] Vazquez R., Recalde L., Silva M., (2008) Stochastic continuous-state approximation of markovian Petri net systems, *IEEE – CDC*, pp. 901 – 906, Cancun, Mexico.

Modélisation de l'écoulement d'un fluide Newtonien dans une filière plate par la méthode des éléments finis spectraux isoparamétriques

M.EL OUMAMI, A.TIZLIOUINE : Laboratoire de Mécanique Productique & Génie Industriel (LMPGI), Université Hassan II de Casablanca,

Ecole Supérieure de Technologie, km 7 Route El Jadida, Casablanca. Maroc

Résumé — Dans le cadre de l'étude que nous proposons, on s'intéresse à l'écoulement d'un fluide en sortie de filière d'une conduite, à température ambiante ou à chaud, de ce fait le jet formé présente, depuis la section de sortie des dimensions transversales caractéristiques supérieures ou inférieures à celle des filières d'extrusion, notre objectif est la détermination de la surface libre résultant du phénomène de l'extrusion d'un fluide newtonien à travers une filière plate. Il s'agit de faire une modélisation du phénomène à l'aide des éléments finis spectraux isoparamétriques constitués des polynômes de Tchebychev. Cela nous conduit à la résolution des équations de Navier –Stockes sur une large plage de nombre de Reynolds.

Mots clefs — Modélisation, Navier-Stockes, Fluide, Polymère, Newtonien, Extrusion, Surface libre, Polynômes de Tchebychev, Eléments finis spectraux

I INTRODUCTION

L'observation de l'écoulement d'un fluide Polymère en sortie de filière d'une conduite à température ambiante ou à chaud amène à constater que le jet formé présente, depuis la section de sortie, des dimensions transversales caractéristiques supérieures à celle des filières d'extrusion : c'est le phénomène de gonflement "Extrudate Swell". La valeur du taux de gonflement est très variable, il peut atteindre des valeurs de près de 400% ou plus pour certains matériaux. La prédiction du taux de gonflement est très importante dans une gamme de procédés industriels tels que l'impression à jet d'encre, moulage par extrusion ou revêtement de câble. Une caractéristique essentielle des écoulements d'extrusion est l'existence d'une singularité au point de sortie de la canalisation où la frontière libre est supposée se rattacher. Cette singularité résulte de la discontinuité de l'ordre des conditions aux limites en ce point et affecte localement les champs de pression ainsi que le gradient de vitesse.

Lorsqu'il fait usage d'une transformation de coordonnées pour résoudre ce type de problème, il apparaît également une singularité "géométrique", dans la mesure où le fluide ne s'écoule en général pas dans le prolongement de la filière ; le contour du domaine présente alors une discontinuité d'angle au point de sortie, où la connaissance précise de la courbure de la frontière s'avère indispensable.

Notre démarche s'inscrit dans le développement d'un code de calcul en utilisant les éléments finis spectraux isoparamétriques, définie à partir des polynômes de Tchebychev dont l'erreur décroît rapidement de façon exponentielle [11,12]. Nous avons pu calculer les champs de vitesse et de pression et par la suite la forme de la surface libre ainsi que le taux de gonflement. Notre étude s'est portée sur un large éventail du nombre de Reynolds ($0 \leq Re \leq 300$). Ils sont en excellent accord avec une étude numérique récente de Mitsoulis [13] et S. Claus [14]. A cet égard, le problème du "Stik-Slip", introduit par Richardson [1], se révèle du plus haut intérêt car il permet de concentrer toute l'attention sur la singularité des conditions aux limites, indépendamment de la discontinuité géométrique.

II FORMULATION DU PROBLÈME

A. Equations régissant le mouvement du fluide

On s'intéresse à la détermination de la surface libre résultant du gonflement d'un fluide Newtonien incompressible à travers une filière plate rectangulaire en configuration isotherme. On considère un écoulement permanent symétrique. Les équations gouvernant un tel écoulement dans le cas bidimensionnel s'écrivent :

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial T_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial T_{yx}}{\partial y} - \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0 \quad (1. a)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial T_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial T_{yy}}{\partial y} - \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (2. a)$$

$$T_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x}, \quad (4. a) \quad T_{xy} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \quad (4. b)$$

$$T_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (4. c)$$

$u=(u,v)$ étant le vecteur vitesse, p est la pression, ρ est la masse volumique, μ est la viscosité dynamique. Pour les conditions aux limites (voir Fig.1)

T_t : contrainte tangentielle, T_n : contrainte normale, $h(x)$: courbe de la surface libre

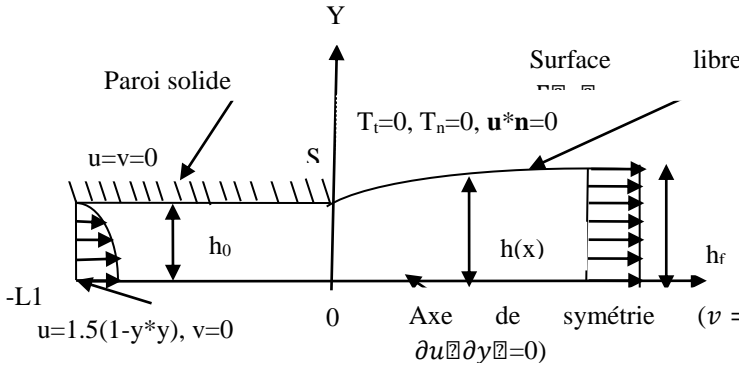


Fig .1 : Conditions aux limites associées au problème de gonflement

B. Formulation variationnelle du problème

Soit Ω un ouvert bornée de frontière $\partial\Omega$. En passant à la formulation variationnelle.

La solution du problème revient à trouver $(u,v) \in H_0^1(\Omega) \times H_0^1(\Omega)$ et $p \in L_0^2(\Omega)$ tel que

$$\int_{\Omega} [(-p + T_{xx}) \frac{\partial \varphi}{\partial x} + (-p + T_{xy}) \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) \varphi] d\Omega = \int_{\partial\Omega} \bar{t}_x \varphi d\Gamma \quad (2.a)$$

$$\int_{\Omega} [(-p + T_{yy}) \frac{\partial \varphi}{\partial y} + (-p + T_{xy}) \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) \varphi] d\Omega = \int_{\partial\Omega} \bar{t}_y \varphi d\Gamma \quad (2.b)$$

$$\forall \varphi \in H_0^1(\Omega)$$

$$\int_{\Omega} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \Psi d\Omega = 0 \quad (2.c)$$

$$\forall \Psi \in \Psi L_0^2(\Omega) \text{ où}$$

$$L_0^2(\Omega) = \{ \int_{\Omega} \Psi dx = 0 \}, H_0^1(\Omega) = \{ \varphi \in \varphi L^2(\Omega), \varphi|_{\partial\Omega} = 0 \}$$

$$\text{Sur la surface on a : } \int_{\Gamma_s} (n_x u + n_y v) \varphi d\Gamma_s = 0 \quad (3.d)$$

où $\mathbf{n} (n_x, n_y)$ les coordonnées du vecteur normale à la surface libre et Γ_s frontière de la surface libre.

\bar{t}_x, \bar{t}_y sont les composantes des termes frontières.

C. Formulation faible sur l'élément spectral Ω_k

La méthode d'approximation variationnelle associée à la formulation variationnelle abstraite nous conduit à chercher des fonctions u, v, p et h dans un espace de dimension fini tel que sur l'élément k on a :

$$\int_{\Omega_k} [(-p + T_{xx}) \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + (-p + T_{xy}) \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} + \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) \varphi_i] d\Omega = \int_{\partial\Omega_k} \bar{t}_x \varphi_i d\Gamma \quad (4.a)$$

$$\int_{\Omega_k} [(-p + T_{yy}) \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} + (-p + T_{xy}) \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) \varphi_i] d\Omega = \int_{\partial\Omega_k} \bar{t}_y \varphi_i d\Gamma \quad (4.b)$$

$$\int_{\Omega} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \Psi_i d\Omega = 0 \quad (4.c)$$

Sur la surface libre on a :

$$\int_{\Gamma_s} (n_x u + n_y v) \varphi_i d\Gamma_s = 0 \quad (4.d)$$

où $\mathbf{n} (n_x, n_y)$ les coordonnées du vecteur normale à la surface libre et Γ_s frontière de la surface libre,

L'approximation sur chaque élément de référence qui est le carré $[-1,1] \times [-1,1]$, est un polynôme $P_N(\Omega_k)$ résultant du produit tensoriel $P_{N_x} \otimes P_{N_y}$, c'est-à-dire un polynôme de degré inférieur à N_x en x et de degré inférieur N_y en y . Par utilisation des éléments finis spectraux isoparamétriques, cela nous permet de passer de l'élément physique à l'élément de référence, on notant :

où $N_x = N_y$

$$x = \sum_{i,j=0}^{N_x, N_y} x_{ij} L_i(\xi) L_j(\eta), \quad (5) \quad y = \sum_{i,j=0}^{N_x, N_y} y_{ij} L_i(\xi) L_j(\eta) \quad (6)$$

Les nœuds d'interpolation dans le carré de référence sont définie par :

$$\xi_i = -\cos\left(\frac{\pi i}{N_x}\right) \text{ et } \eta_j = -\cos\left(\frac{\pi j}{N_y}\right), L_i(\xi_j) = \delta_{ij} \quad (6)$$

où $0 \leq i \leq N_x, 0 \leq j \leq N_y$

$$\text{Soient } L_0^2(\Omega) = \{ q \in L^2(\Omega), \int_{\Omega} q dx = 0 \},$$

$$Y_h = \{ v \setminus v|_{\Omega_k} \in P_N(\Omega_k) \},$$

$$M_h = \{ q \setminus q|_{\Omega_k} \in P_{N-2}(\Omega_k) \}$$

$$X_h = Y_h \cap H_1^0(\Omega), \quad \Omega = \cup \Omega_k$$

Pour que le système discret soit bien posé, les espaces de vitesse et de pression doivent vérifier une condition de compatibilité, appelé condition Inf-Sup [6,7] qui a été à l'origine formulé par Brezzi [5]. Une manière de résoudre cette difficulté est de proposer des espaces polynomiaux compatibles de type : $P_N _ P_{(N-2)}$ (P_N pour la vitesse et $P_{(N-2)}$ pour la pression) dont l'analyse numérique est la mise en œuvre ont été réalisés Ronquist [10], Azeif [9] et Mady et al [8]. La condition Inf-Sup est vérifiée en prenant pour la pression des polynômes de degré moins élevé de deux unités que ceux approchant la vitesse.

$$\varphi_i \in P_N(\Omega_k), \Psi_i \in P_{N-2}(\Omega_k)$$

$$u = \sum_{i,j=0}^{N_x, N_y} u_{ij} L_i(\xi) L_j(\eta), (7. a)$$

$$v = \sum_{i,j=0}^{N_x, N_y} v_{ij} L_i(\xi) L_j(\eta) (7. b)$$

$$p = \sum_{i,j=0}^{M_x, M_y} p_{ij} h_i(\xi) h_j(\eta), (7. c)$$

Après avoir discrétiser le système et en tenant compte des expressions de u, v et p, on obtient :

$$A_{ij} U_j - D_{in} P_n + \rho (IX_{ijk} U_i + IY_{ijk} V_j) U_k = X_i \quad (9.a)$$

$$B_{ij} V_j - E_{in} P_n + \rho (IX_{ijk} U_i + IY_{ijk} V_j) V_k = Y_i \quad (9.b)$$

$$-D_{in} U_j - E_{in} V_j = 0 \quad (9.c)$$

(1)

Où

$$A_{ij} = \mu \int_{\Omega_k} \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial x} \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \frac{\partial \varphi_j}{\partial y} \right) dx dy \quad (10. a)$$

$$D_{in} = \int_{\Omega_k} \Psi_n \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial x} \right) dx dy \quad (10. c)$$

$$E_{in} = \int_{\Omega_k} \Psi_n \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \right) dx dy \quad (10. d)$$

$$X_i = \int_{\partial \Omega_k} \bar{t}_x \varphi_i d\Gamma \quad (10. e)$$

$$Y_i = \int_{\partial \Omega_k} \bar{t}_y \varphi_i d\Gamma \quad (10. f)$$

$$IX_{ijk} = \int_{\Omega_k} \varphi_i \varphi_j \left(\frac{\partial \varphi_k}{\partial x} \right) dx dy \quad (10. g)$$

$$IY_{ijk} = \int_{\Omega_k} \varphi_i \varphi_j \left(\frac{\partial \varphi_k}{\partial y} \right) dx dy \quad (10. h)$$

La résolution du système précédent se fait avec la méthode de Newton Raphson en intégrant la condition cinématique $u.n=0$ et les conditions aux limites de la Fig.1

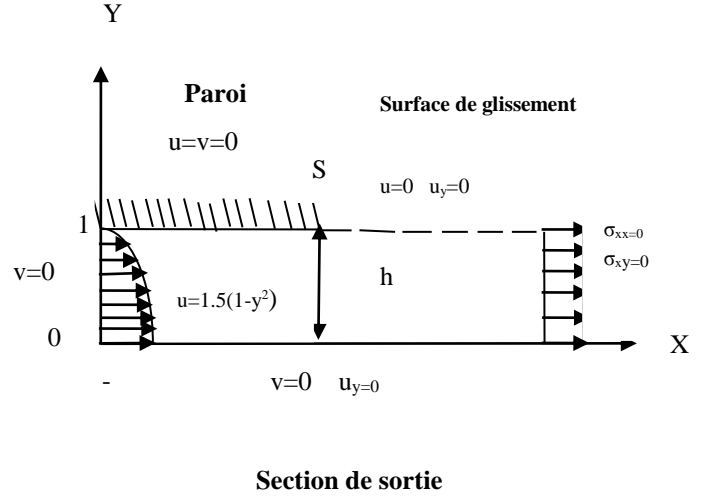


Fig 2 : Problème du "Stick-Slip".

III RESULTATS ET DISCUSSION

A. Problème "Stik-Slip"

Dans le problème "Stik-Slip" la frontière libre est remplacé par un plan de glissement horizontal, dans le prolongement de la filière (voir figure 2).

Le domaine de l'écoulement est rectangulaire ; la difficulté du problème se résume donc à la présence au point S d'une discontinuité de l'ordre des conditions aux limites pour la composante horizontale u de la vitesse. On trouve également à la figure 1.1 l'ensemble des conditions aux limites imposées : la vitesse du fluide à l'entrée donnée par un profil de Poiseuille développé, tandis qu'à la sortie on exige l'absence des forces de contact ce qui implique une condition de traction nulle

$$\sigma_{xx} = -p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} = 0, (11.a)$$

et une condition de cisaillement nul

$$\sigma_{xy} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) = 0 \quad (11.b)$$

On choisit une longueur de développement L suffisante pour justifier ces choix.

Le long du plan de glissement, défini par $x > 0$ et $y = 1$, la condition de vitesse nulle entraîne $v = 0$. Et dès lors $\frac{\partial v}{\partial x} = 0$

de sorte que l'absence des forces tangentielles exige, par (11.b), $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$

La ligne $y = 0$ est un axe de symétrie auquel correspondent les mêmes conditions aux limites que pour CI

On note que le long de CI on observe une force normale non nulle donnée par :

$$\sigma_{yy} = -p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial y} = 0. \quad (11.c)$$

On peut considérer le problème "Stik-Slip" comme le cas limite d'un écoulement d'extrusion à la frontière libre lorsque la tension superficielle tend vers une valeur infinie le long de celle-ci, les forces de capillarité annihilant les forces de contact normale.

Sous l'hypothèse de Stokes, le problème "Stik-Slip" est linéaire, dans un domaine à géométrie simple. On peut dès lors aborder sa résolution complète par voie analytique : le cas plan a été traité par Richardson [1] tandis que le cas axisymétrique a été résolu par Trogdon et Joseph [2]. Les deux approches conduisent à la résolution d'une équation bi-harmonique pour la fonction-courant ψ . Au préalable, il est tiré parti, dans les deux cas, de l'analyse de la singularité effectuée par Richardson. Il apparaît que celle-ci est de type : $\psi = r^{(3/2)}$, ou r est la distance au point de sortie.. Ce résultat découle de l'existence d'une force infinie à la singularité. Les champs de vitesse et de pression ainsi calculés apportent un éclairage important sur ce type d'écoulement, dont on résume les traits essentiels dans le cas plan [1] :

- l'existence d'une singularité de pression :

$$\text{Limite } p(x, y = \pm 1) = -\infty \quad (12)$$
- l'existence d'une singularité de gradient de vitesse :

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} u(x, y = \pm 1) = 1.162x^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$
- On observe que le réarrangement du profil de Poiseuille dans le canal vers un écoulement plat dans le jet débute avant la section de sortie (accélération près de la paroi et décélération près de l'axe) ; il y a donc existence d'une zone de transition dans laquelle le fluide anticipe sa sortie,

qui se traduit par une distance relativement courte, de l'ordre d'une section total pour le réarrangement complet.

Les premiers tests effectués ont mis en évidence la nécessité de disposer d'un maillage très fin autour de la singularité (voir Fig. 3) ; une bonne approximation des gradients de l'écoulement de l'écoulement autour de ce point conditionne la précision de la solution dans la zone de transition où le profil de poiseuille se transforme en profil plat.

Eu égard au traitement particulier que l'on adopte le long du bord supérieur du domaine, on présente la distribution de la composante horizontale de vitesse u et la pression, sur cette ligne, de même sur l'axe où ces fonction sont pratiquement régulière .La distribution de vitesse obtenue numériques est en parfait accord avec la solution analytique de Richardson [1] ; ce dernier ne donne malheureusement que des résultats graphiques qui ne permettent pas d'effectuer des mesures très précises de l'erreur commise. La croissance de u au voisinage de la singularité est du même type que celle qui résulte de la forme asymptotique pour la solution analytique [1] (voir Fig5). Pour la distribution de la pression le long de l'axe, la pression présente un pic qui tend vers une valeur fortement négative au voisinage de la singularité [1]. (voir Fig.4)

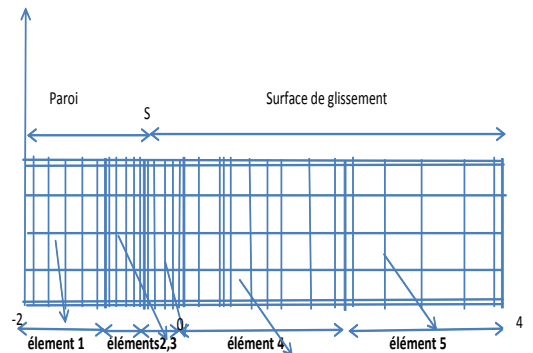
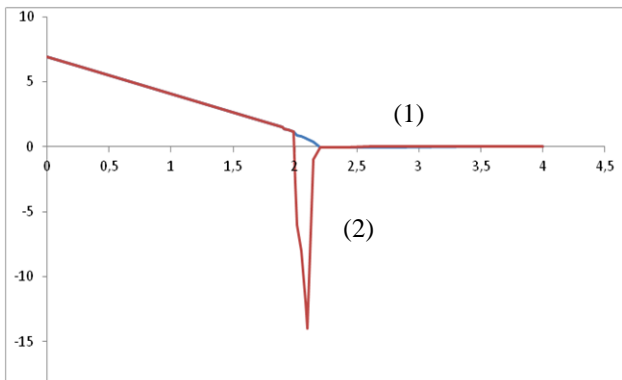


Fig 1,3 Maillage pour le problème "Stick-Slip" en cinq éléments spectraux



Distribution de la pression pour le problème "Stick-Slip" (1) : le long de l'axe, (2) : le long de la surface libre

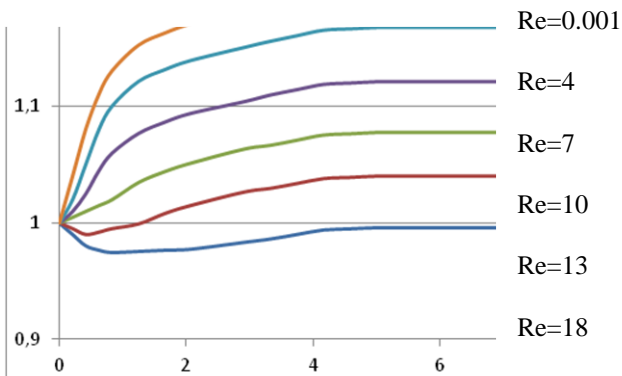
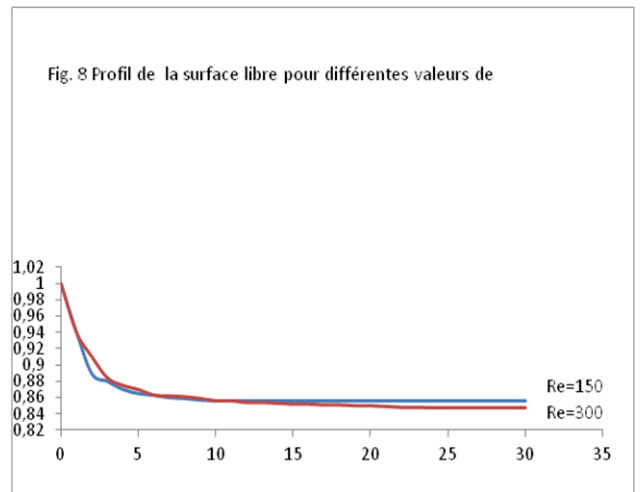


Fig. 6: Profil de la surface libre $h(x)$ en fonction du Reynolds Re

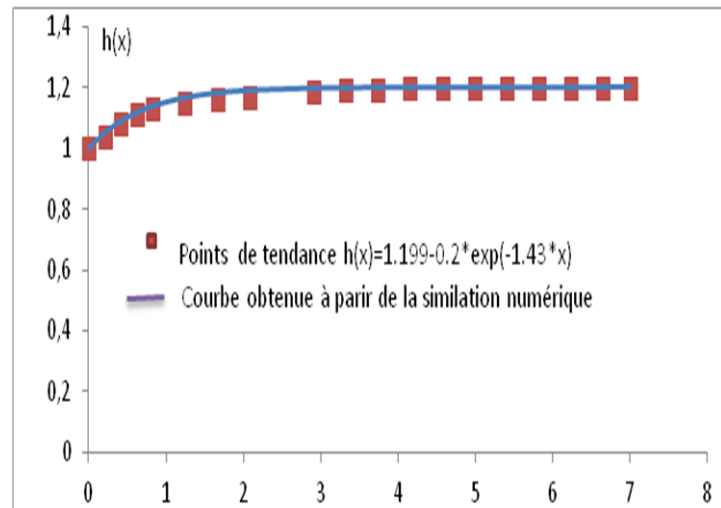


Fig. 7: Comparaison du profil de la surface libre $h(x)$ pour un nombre de Reynolds $Re=1e-3$ entre la solution numérique et la solution analytique

Fig 5. : Distribution de la composante horizontale u de la vitesse pour le problème "Stick-Slip" (1): le long de la surface de glissement (2): le long de l'axe Ox

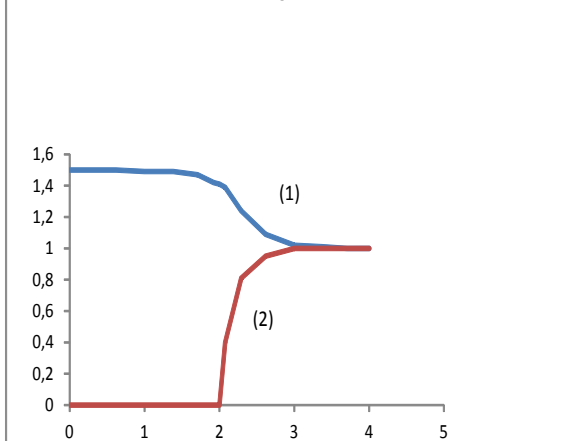


Tableau 9 : Résultats comparatifs du taux du gonflement en fonction du nombre de Reynolds (Re) selon les auteurs

EM : présent travail

Cas N°	Re	E.M	B.O [15]	Mitsoulis [13]	S. Claus [14]
1	10 ⁻³	1.199	1.19	1.1915	1.1912
2	1	1.198	1.191	1.1885	1.1873
3	4	1.167	1.166		1.1060
4	7	1.121	1.122		1.013
5	10	1.077	1.078	0.9842	0.9846
6	13	1.040	1.042		
7	18	0.996	0.998		
8	25	0.957	0.959		
9	40	0.915	0.916		0.877
10	50	0.899		0.8691	0.862
11	75	0.8778	0.8789		
12	150	0.8560	0.8565		
13	300	0.8474	0.8448		

B. Problème "Die Swell"

Ce problème, qui concerne un écoulement d'extrusion d'une filière de section rectangulaire ou circulaire. On traite ici le cas plan, pour une coupe verticale de la canalisation de section rectangulaire, placé horizontalement. On néglige les effets de gravités et de tension superficielle. On adopte l'hypothèse que la frontière libre est attachée au point de sortie S.

Cet écoulement a fait l'objet de diverses études par voies numériques. Citons d'abord l'équipe de Nickell, Tanner et Caswell qui proposé en 74 [3] une première simulation numérique du "Die Swell" dans le cas axisymétrique, en l'absence de forces de capillarité.

La forme de la frontière libre résulte d'un schéma de calcul itératif fondé sur l'intégration de la condition cinématique. L'effet du nombre de Reynolds et du nombre capillaire sur l'épaisseur asymptotique du jet est étudié en 78 par Reddy et Tanner [4] à l'aide du même algorithme.

La forme de la frontière libre résulte d'un schéma de calcul itératif fondé sur l'intégration de la condition cinématique. L'effet du nombre de Reynolds et du nombre capillaire sur l'épaisseur asymptotique du jet est étudié en 78 par Reddy et Tanner [4] à l'aide du même algorithme.

Afin d'obtenir une vue réelle et synthétique de l'influence des forces d'inertie sur le taux de gonflement χ , nous avons exposé dans le tableau 9 une étude comparatif du taux de gonflement en fonction du nombre de Reynolds selon les auteurs. On note que nos résultats sont en excellente concordance avec celles de Omodei [15], et une bonne corrélation par rapport à ceux de Mitsoulis [13] et S. Claus [14], malgré que ces derniers ont des résultats un peu sous estimés, ceci est dû probablement à la façon de traiter la singularité S, et donc l'angle de décollage de la vitesse au point S ainsi que la distance qu'il faut pour que l'écoulement soit pleinement établi pour avoir un profil plat de vitesse.

On peut que noter que le profil de la surface libre pour différentes valeurs du nombre de Reynolds (voir Figures 6,7 et 8) en bonne concordance avec celle Omodei [15]

Il est important de noter que la forme finale de la surface libre est quasiment identique pour toutes les modélisations et peut être explicité par une forme exponentielle. Nous avons pu adapter cette expression analytique pour la première fois au cas d'une filière plate rectangulaire on posant $h(x)=A+B\exp(Cx)$, ou $h(x)$ désigne la courbe de la surface libre correspondant à $Re=0.001$, la détermination des constantes A,B et C ont été effectués grâce aux conditions aux limites au point Singulier S et en aval de l'écoulement, Le modèle analytique utilisé semble suffisamment précis pour prédire la forme de la surface libre (voir Fig. 7), nous pensons qu'on peut l'étendre aux cas d'autre nombre de Reynolds.

Bibliographies

[1] S. Richardson, "A stick-Slip problem related to the motion of free jet at tow Reynolds Numbers", Proc. Camb. Phil. Soc., (1970), vol.67, 477.

[2] J.F Thompson, F.C. Thames, and C.W. Mastin, J. Comput. Phys. 24, (1977), 299.

[3] R.E. Nickell, R.I. Tanner and B. Caswell, J. Fluids., Mech (1974),vol.65, 189.

[4] K.R Reddy and R.I. Tanner, Computers and Fluids, vol.6, (1978), 83.

[5] F. Brezzi - "Sur l'existence, unicité et approximation numérique de problèmes de point de selle" C.R. Acad. Sc.Paris, Serie A, 278 (18 mars 1974), 839-842, (1974)

[6] C. Bernardi, C. Canuto, Y. Maday — Generalized inf-sup condition for Chebyshev spectral approximation of the Stokes problem, SIAM J. Numer. Anal. 25 (1988), 1237-1271.

[7] C. Canuto, M.Y. Hussaini, A. Quarteroni and T.A. Zang , Spectral Methods in Fluid Dynamics, Springer-Verlag, New York (1988) DM 162

- [8] Y Maday, AT Patera, EM Rønquist, The method for the approximation of the Stokes problem. *Laboratoire d'Analyse Numérique, Paris VI*, 11, fasc .4, 1992.
- [9] M.Azaiez : Calcul de la pression dans le problème de Stokes pour des fluides visqueux incompressibles par une méthode spectrale de collocation. Thèse de doctorat de l'université de Paris sud, 1990
- [10] E.M. Ronquist. Optimal spectral element methods in the unsteady 3 dimensional incompressible Navier-Stokes equation. Phd. Thesis, M.I.T., Cambridge, Mass, 1990
- [11] Karol. Z. Korczak and Anthony T. Patera. An Isoparametric Spectral Element Method for Solution of the Navier-Stokes Equations in Complex Geometry. *Journal of Computational Physics* 62. 361-382 (1986)
- [12] Paul. F. and Anthony T. Patera. Parallel Spectral Element solution of the Stokes problem. *Journal of Computational Physics* 92. 380-421 (1991)
- [13] Mitsoulis E, Georgiou G, Kountouriotis Z. A study of various factors affecting Newtonian extrudate swell. *Comput Fluids* 2012;57(0):195–207.
- [14] S. Claus , C.D. Cantwell , T.N. Phillips. Spectral/hp element methods for plane Newtonian extrudate swell. *Computers & Fluids* 116 (2015) 105–117
- [15] B.J. Omodei, *Computers and Fluids*, vol.7, (1979), 79

A novel classification system for numeral recognition

Ouafae El Melhaoui
Centre de Recherche EHEIO-
OUJDA, Morocco.
wafa19819@gmail.com

Mohamed El Hitmy
Labo LETAS, FS, university
Mohamed 1, Morocco.
elhitmy@yahoo.fr

Mohammed Barboucha
EST, university Mohamed 1,
Morocco.
Barboucha.med@gmail.com

Soukaina Benchaou
Labo MATSI; EST, university
Mohamed 1, Morocco.
soukaina.benchaou@gmail.com

Abstract— This paper proposes a new method of features extraction for handwritten, printed and isolated numeral recognition. It consists of scanning the image row by row, for each row the positions of two first black white transitions in columns were detected, so the first attribute vector is defines from these positions, after, the image was scanned column by column, the positions of two first transitions in row was defined, so the second vector is defines from these positions, so the concatenation of the two vectors determined the attribute vector of the particular numeral. Numeral recognition is carried out in this work through k nearest neighbors and multilayer perceptron. The recognition rate obtained by the proposed system is improved indicating that the numeral features extracted contain more details.

Keywords- *features extraction; Numeral recognition; k nearest neighbors; multilayer perceptron*

I. INTRODUCTION

The pattern recognition is a very active subjects, it plays a very crucial role in various technical domains such as postal sorting, bank check reading, order form processing, robotics etc.

The Recognition system requires three important steps which are: preprocessing, features extraction and classification.

The preprocessing phase improves the shape of the image by binarization and adjusts the size and position of the image by normalization and cropping.

The Numeral features extraction is a delicate process and is crucial [1] for a good numeral recognition. It consists of converting the image into a vector whose elements characterize the image of a discriminated way, this vector called attribute vector. The choice of the attribute vector is very important; the wrong choice leads to terrible recognition.

Classification is the step of decision, which realizes the recognition. It consists of partitioning a set of data entity into separate classes according to a similarity criterion. Different methods are proposed in this context including neural networks, support vector machines [7], k nearest neighbors, k -means, etc.

In this study, a database of 600 numerals, printed and handwritten, provided by various categories of writers is used. The used database is divided into two sets, 400 numeral images for learning and 200 numeral images for test.

This paper is planned as follows: Section 2 presents the different methods of features extraction. In section 3, the k nearest neighbors and MLP techniques of classification are presented. The proposed system for numeral recognition is discussed in section 4. The result of simulations and comparisons are introduced in section 5. Finally, a conclusion.

II. NUMERAL FEATURES EXTRACTION

Features extraction is an essential task in any recognition system of forms. The main objective of features extraction is to represent objects by a vector of characteristics of fixed size and to keep only characteristics which contain the most relevant and the most discriminating information.

The set of features also called attributes, form a space of representations of data. The features must be as discriminate as possible. When the data are positioned in the representation spaces, the different classes formed must be the most compact and most separate as possible. Various types of features have been used in the literature. There is the profile projection, the loci characteristics...., all have been used with image classification and recognition, for that purpose, we chose the profile projection and the Loci as statistical methods.

A. *Projection de profil*

Profil projection is a statistical method widely used in numeral recognition [7], Chinese characters [8], bar codes of products [9], etc.

Before extraction feature, the image must be binarized which is presented in color, cropped and resized to a predefined size.

This technique calculates the number of background pixels between the left, bottom, right, top edge of the image until the first black pixel met on this row or column. The dimension of

the obtained attribute vector is twice the sum of the number of rows and columns associated to the image of the numeral.

B. Loci characteristics

Loci characteristic method has initially been proposed by Gluksman in 1967 [1, 2, 7]. The method has been widely used because of its many advantages. It is insensitive to small perturbations, robust to variations in styles and fonts, and has obtained good results in recognizing handwritten numerals [7].

The method is based on the pixels background rather than the numeral pixels themselves. The loci characteristics are generally defined on horizontal and vertical directions. They are computed with respect to the number of white to black transitions in the right, down, left and up directions for each background pixel of the image. For each background pixel, a number of four digits is obtained, called a loci number (figure.1)

A scanning of all the image background pixels is carried out, an attribute vector element is constituted by the total number of background pixels having the same loci number [5, 8].

We begin this approach by cropping the numeral from its background, which only leaves the interesting part of the image. Traditional CL limits for each background pixel, the number of transitions to two, the size of the attribute vector is $3^4=81$

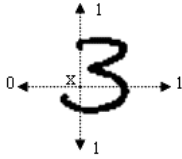


Fig 2: Loci number for background pixel's 'x', the pixel code is (1,1,0,1)

III. CLASSIFICATION METHODS

A. K Nearest Neighbors (KNN)

KNN is a widely used method for data classification. Proposed in 1967 by Cover et al. [12], it has been used in handwritten numerals recognition [9] for its simplicity and its robustness [14]. KNN is a method which was inspired from the closest neighbor rule, it is based on the hypothesis that only the closest neighbor has most influence on the classification decision approach. KNN is based on computing the distance between the test data and the different learning data samples [9] and then attribute the test sample to the k nearest neighbors.

Algorithm 1 : K nearest neighbors
<ul style="list-style-type: none"> - Let $L = \{(x', c)/x' \in \mathbb{R}^N, c = 1, 2, \dots, C\}$ the learning set. - Let x the example to determine its class.
<p>1: For each object x' of the set L</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compute the distance between the object x and the object x', $d(x, x')$.
<ul style="list-style-type: none"> - Classify the different distances in increasing way.
<p>End</p>
<p>2: For every $\{x' \in KNN(x)\}$ do :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identify the most frequent class.
<p>End</p>
<p>3: Assign to x the identified class.</p>

B. Multilayer Perceptron (MLP)

MLP are defined as mathematical models inspired from human brain and how the human neurons function [14]. It have been usually used for data classification, pattern recognition,

MLPs are forward propagation networks where the two closest layers are fully connected. The structure of an MLP is an input, an output and a certain number of hidden layers. In this work one hidden layer is used. The number of neurons in the hidden layer has been determined heuristically or by trial and error.

The *MLP* is characterized by its ability to learn and gradually improve its performance through a learning process. Learning is a phase where the behavior of the network is modified by modifying the synaptic weights until a desired output pattern is obtained. There are three principal learning types, gradient backpropagation algorithm, hebb rules and competitive learning.

In this work, we have used the gradient backpropagation algorithm, the objective is to minimize the squared error between the desired and computed output of the *MLP*. Figure 4 shows the different steps of the gradient backpropagation algorithm.

Algorithm 1 : MLP
<ul style="list-style-type: none"> Randomly initialize the synaptic weights between -1 and 1. Randomly apply a realization vector of an object to the input layer and its corresponding known output to the output layer. Compute the network output and error E between computed and desired outputs.
<p>Adjust the weights by the gradient method :</p>
$W^{(r)}(t+1) = W^{(r)}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial W^{(r)}}$
<p>η is the learning rate, which is in general a value between 0.1 and 0.9. $r = 1, 2$.</p>
<p>Go to 2 as long as the network does not show satisfactory performances.</p>

Algorithm convergence is achieved when the synaptic weights remain almost steady and the computed outputs are close enough to the desired ones.

IV. PROPOSED SYSTEM

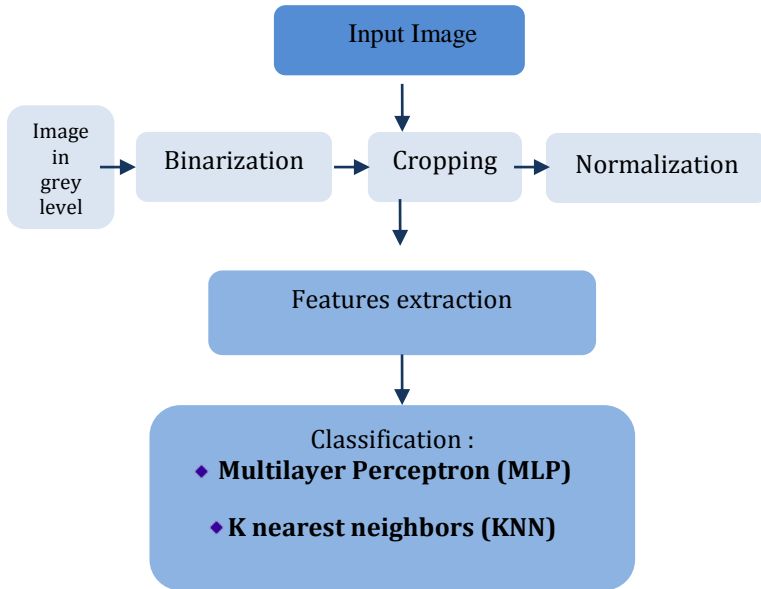


Fig 3: Proposed scheme for numerals recognition.

The preprocessing stage consists of initially binarizing the numeral input image which is presented in color, setting out a threshold value against which the image pixels are compared, if the pixel value is greater than the threshold, it is set to one, it is set to zero otherwise.

The next step is the cropping; it consists of preserving only the numeral position in image, by eliminating all white space outside of the numeral.

Final step is the normalization; it consists of fixing the size of the entire cropped numeral images.

After this operation the numeral image is ready for features extraction, this stage consists of scanning the image row by row, for each row the two first black white transitions were coded by their positions in columns, so the first attribute vector is formed by these positions, after, the image was scanned column by column, the first transitions were coded by their positions in row, so the second vector is defines from these positions, so the concatenation of the two vectors determined the attribute vector of the particular numeral. The dimension of the obtained attribute vector is twice the sum of the number of rows and columns associated to the image of the numeral.

Finally, the numeral recognition is carried out through k nearest neighbors and multilayer perceptron.

V. RESULT AND DISCUSSION

In this present study, we compared our method with statistical methods which are most used in the numeral recognition as the profile projection and loci characteristics using KNN and PMC as classification methods, for that purpose the recognition rate was calculated according to the size of normalization

TABLE 1: ARABIC NUMERAL RECOGNITION BY KNN.

		20x20	30x30	30x25	40x40
Profile Projection	Recognition rate	94.5	96.5%	96.5%	95.5%
	Number of attribute	80	120	110	160
Loci characteristics	Recognition rate	95.5	95.5%	95.5%	95.5%
	Number of attribute	81	81	81	81
Proposed system	Recognition rate	95	95.5%	95.5%	95%
	Number of attribute	80	120	110	160

The rate of recognition of different features extraction methods by KNN, is obtained by changing the parameter K from 1 to 9 and we used the parameter K having the best recognition rates.

From the table 1, we notice that the Loci characteristics is independent of the normalization size, the recognition rate is equal 95.5%. The recognition rates of the profile projection and the proposed system are almost similar, they varied according to the normalization size, and it is equal 96.5% for PP and 96% for proposed system.

Concerning the MLP, Several experiments were carried out to determine the best recognition rate; the simulations were involved according to the number of hidden neurons.

Table 2 illustrates the influence of this number on the recognition rate using the proposed system as feature extraction, and 30x25 as normalization size. The structure of the MLP used is; an input layer with $2 \times (\text{nombre de ligne} + \text{nombre de colonne}) = 110$ neurons, an output layer with 10 neurons where each of them represents a numeral from 0 to 9. Therefore only the number of neurons in the hidden layer needs to be determined.

TABLE 2: NUMBER OF NEURONS IN THE HIDDEN LAYER WITH RESPECT TO THE RECOGNITION RATE OF NUMERALS

Number of neurons in the hidden layer	Recognition rate (%)
15	95.5
20	97.5
30	96.5
40	96.5
80	95.5
100	95.5

Table 2 highlights the fact that a number of 20 neurons in the hidden layer obtains good recognition rate performance of isolated numerals.

The same procedure is carried out for others techniques PP and LOCI, table 3 illustrates the different recognition rates obtained.

TABLE 3: ARABIC NUMERAL RECOGNITION BY MLP.

Feature extraction	Recognition rate by MLP
Profil Projection	98%
LOCI	97%
Proposed system	97.5%

From this table, we noticed that the proposed system has a recognition rate comparable with the most popular methods it equal 97.5%, and the proposed system presents less algorithmic complexity than other methods.

Conclusion

In this work we have presented a new approach features extraction for numerals recognizing, it consists of scanning the image row by row, for each row the positions of two first black white transitions in columns were detected, so the first attribute vector is defines from these positions, after, the image was scanned column by column, the positions of two first transitions in row was defined, so the second vector is defines from these positions, so the concatenation of the two vectors determined the attribute vector of the particular numeral. Numeral recognition is carried out in this work through k nearest neighbors and multilayer perceptron. Different techniques were compared with the proposed system, the recognition rate obtained by the proposed system is good indicating that the numeral features extracted contain more details and it presents a less algorithmic complexity. That confirms the performance of our proposed system for numeral recognition.

REFERENCES

- [1] Benne R.G.1, Dhandra B.V.1 and Mallikarjun Hangarge. "Tri-scripts handwritten numeral recognition: a novel approach". *Advances in Computational Research*, ISSN: 0975-3273, 2009, Vol 1, Issue 2, pp-47-51 Reza.
- [2] Hamid Reza Boveiri. "Persian Printed Numerals Classification Using Extended Moment Invariants". *World Academy of Science, Engineering and Technology* 63, 2010.
- [3] Dupré, X. "Contributions à la reconnaissance de l'écriture cursive à l'aide de modèles de Markov cachés". Thèse, Université René Descartes-Paris 5, 2003.
- [4] Farès Menasri, Nicole Vincent1, Emmanuel Augustin. "Reconnaissance de chiffres farsi isolés par réseau de neurones à Convolutions". *Conference Internationale Francophone sur l'Écrit et le Document*. Octobre Rouen 2008.
- [5] G. G. Rajput, S. M. Mali. "Marathi Handwritten Numeral Recognition using Fourier Descriptors and Normalized Chain Code". *IJCA Special Issue on Recent Trends in Image Processing and Pattern Recognition RTIPPR*, 2010.
- [6] Reza Ebrahimpour, Mohammad R. Moradian, Alireza Esmkhani, Farzad M. Jafarlou. "Recognition of Persian handwritten digits using Characterization Loci and Mixture of Experts". *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, September 2009, Vol 3, N° 3,.

- [7] Roberto Gil-Pita, Xin Yao. "Evolving edited k nearest neighbor classifiers". *International Journal of Neural Systems*, 2008, Vol. 18, No. 6, pp: 459-467.
- [8] Ludmila I. Kuncheva. "Editing for the k-nearest neighbors rule by a genetic algorithm". *Elsevier, Pattern Recognition Letters* 16, 1995, pp: 809-814.
- [9] Vicente Cerverón and Francesc J. Ferri. "Another Move toward the Minimum Consistent Subset: A Tabu Search Approach to the Condensed Nearest Neighbor Rule". *IEEE transactions on systems, Man, and cybernetics, partB: cybernetics*, June 2001, Vol. 31, N°. 3.
- [10] Nedjem Eddine Ayat. "Selection de modele automatique des machines a vecteurs de support : application à la reconnaissance d'images des chiffres manuscrits". Thèse. 2004.
- [11] Hatem M.R. Abou-zeid,. "Computer Recognition of Unconstrained Handwritten Numerals". *The 46th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems*. Cairo-Egypt. 2003
- [12] Marc Parizeau. « Réseaux de neurones ». Livre, 2004.
- [13] J.Pradeep, E.Srinivasan, S.Himavathi. "Diagonal Feature Extraction Based Handwritten Character System Using Neural Network". *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887). 2010, Vol 8, N°.9, pp: 17-22.
- [14] DERDOUR Khedidja. "Reconnaissance de formes du chiffre arabe imprimé : Application au code à barre d'un produit". *Mémoire*. 2009.
- [15] H.Gluskmen. "Classification of mixed-font alphabetic by characteristic loci". *Digest of 1st Annual IEEE Comp. Conf*, sept 1967, pp.138-141.

Activité anrioxydante et effet inhibiteur de la corrosion d'un acier doux par l'huile essentielle du clou de girofle en milieu HCl

Fadoua El-Hajjaji¹, Mustapha Taleb¹, Abdelfattah Abdellaoui², Farouq Amal², Abdelouahad Aouniti³, Belkheir Hammouti³.

¹ Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux, Modélisation ET Environnement, Faculté des sciences/Université ibn abdallah, Fés, Maroc

² Laboratoire of Physiologie, Pharmacologie santé et environnement, Faculté des sciences/Université ibn abdallah, Fés, Maroc

³ Laboratoire de Chimie application et Environnement Faculté des Sciences/Université Mohammed Premier, Oujda, Maroc

Résumé:

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen original de lutte contre la corrosion, l'originalité de cette méthode provient du fait que le traitement anticorrosion ne se fait pas sur le métal lui même mais par l'intermédiaire du milieu corrosif.

L'effet inhibiteur de l'huile essentielle du clou de girofle sur la corrosion d'un acier doux en milieu acide (HCl1M) est étudié par la méthode gravimétrique et électrochimique. Les résultats obtenus montrent que cette huile essentielle a un effet excellent sur l'inhibition de la corrosion de l'acier doux en solution acide chlorhydrique 1M ; l'efficacité inhibitrice donne 90 % à 0,8g/l.

Les résultats abtenus de l'immersion du même produit en HCl 5M ont montré une diminution d'efficacité ; ceci revient à ce que le milieu devient plus agressif.

Mots-clés: Corrosion, HCl, inhbiiteur, acier doux

Session 7

Optimisation et Modélisation des Systèmes de Télécommunications

A Survey of localization in Wireless Sensor Networks

Brahim IDHAJOURB (1), Abdellah EZZATI (2), Mohammed FIIHRI (3)

(1, 2,3) LAVETE laboratory Mathematics and Computer Science Dept Sciences and Tech FacSettat, 26000, Morocco
brahim.idhajoub@gmail.com, abdezzati@gmail.com, fihrimohammed@gmail.com

Abstract— A Wireless sensor network (WSN) is composed of a set of nodes namely micro-sensors which are able to collect and transmit environmental data autonomously. In most of the applications, it is of much interest to find out the location of the data. This type of information can be obtained using localization techniques. Localization is the process of finding the position of a sensor node to locate the collected data. In this paper, we discuss different localization systems for WSN, and we present a classification and comparative study of localization techniques.

Keywords— Localization, Wireless Sensor Network, RangeFree, Range Based, Anchor node, Beacons, TOA, TDOA, RSSI, AOA, Dv-hop.

I. INTRODUCTION

A Wireless Sensor Network (WSN) consists of a set of wireless nodes where their number can be very large. The WSN is used to perform a specific task for an application. The WSN has become increasingly popular due to their wide range of civil and military applications: smart planet, smart home, smart care, M2M (Machine to Machine)...

A definitive objective of a WSN is to monitor an area of interest, but to achieve that, several objectives (services) must be implemented. These services include: synchronization between nodes, localization, topology management, data aggregation, data storage, etc.

The node's localization is one of the most important services. It associates to each node the coordinates of its position. Several methods are used to achieve this function. A set of systems (technologies) have been developed to provide this service.

Localization is the process of finding the position of nodes as data and information are useless if the nodes have no idea of their geographical positions. Sensor node can determine its location by extracting the information received from the infrastructure, by making node to send signal periodically. Global positioning system (GPS) is the simplest node localization method [1], but it becomes very expensive if large number of nodes exists in a network and also these devices have huge energy consumption. Therefore, several localization algorithms have been introduced to solve localization problem.

In this paper, we discuss the localization systems for WSN, and we present the classification and comparative study of localization techniques.

II. THE COMPONENTS OF LOCALIZATION SYSTEMS

Localization systems can be divided into three distinct components:

- Distance/angle estimation: This component is responsible for estimating information about the distances and/or angles between two nodes. This information will be used by the other components of the localization system.
- Position computation: This component is responsible for computing a node's position based on available information concerning distances/angles and positions of reference nodes.
- Localization algorithm: This is the main component of a localization system. It determines how the available information will be manipulated in order to allow most or all of the nodes of a WSN to estimate their positions.

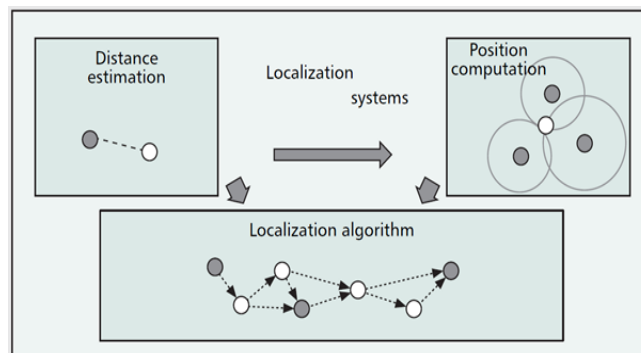


Fig.1: Division of localization systems into three distinct components [adapted from [2]]. Prepare Your Paper Before Styling

III. LOCALIZATION OVERVIEW

Here we discuss few concepts that can be used in such kind of localization like:

- ❖ Iteration: In this mechanism distance is calculated between the sensor nodes.

- ❖ **Tri-Lateration** : Location of un-localized node is estimated by calculating the distance from three nodes through the intersection of three circles which gives a single point that will be the position of the un-localized node.
- ❖ **Multi-Lateration** : Here we consider more than three nodes for location estimation.
- ❖ **Angulation** : In angulation angle between the nodes is consider to determine the location.
- ❖ **Triangulation** : For this concept, location of un-localized node is being calculated by measuring at least two angles of un-localized node from two localized nodes. [3]

A. Localization schemes

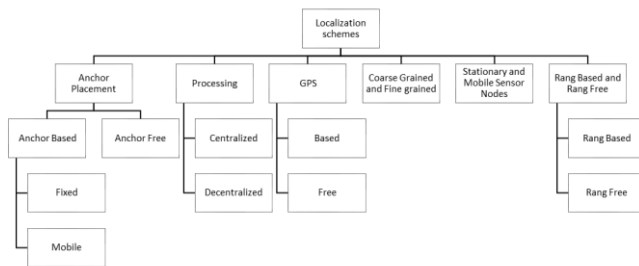


Fig 2: Localization schemes.

Anchor Based: In this approach the position of few nodes are known. These nodes are known as anchor nodes. With the help of these anchor nodes, the location of other un-localized nodes is determined.

Anchor Free: In this approach, there is no anchor node available so instead of calculating absolute positions of nodes, algorithms calculate the relative positions of the nodes.

Centralized: In this technique, all the information is transmitted to one central node. This node is known as base station. It is important to take care of position computation of all nodes and circulates the information to the respective node.

Decentralized: In decentralized scheme, each sensor node is responsible for calculating and estimating their position individually. Because there is no clustering each node communicate directly with anchor nodes.

GPS Based: Wellenhof et al, [1] concluded that GPS-based schemes are very costly because GPS receiver has to be put on every node. Furthermore, localization accuracy is very high as well.

GPS-free: GPS-free algorithms do not use GPS, they calculate the distance between the nodes relative to local network and are less costly as compared with GPS-based.

Fine Grained and Course Grained: In fine-grained schemes, localization algorithms use the received signal

strength feature of nodes where as in course-grained schemes it does not.

Stationary Sensor Nodes: As we know that there are two types of sensor nodes stationary (static) and mobile nodes. Based on the deployment of sensor nodes algorithms are designed. In stationary sensor nodes, all nodes are static and fixed at one place.

B. Overview of Rang Based and Rang Free

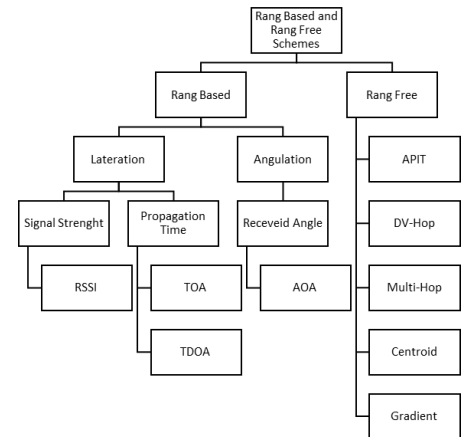


Fig 3 : Rang Based and Rang Free Schemes

1) RANGE-BASED LOCALIZATION

In range-based localization, the location of a node is calculated respective to other nodes in its vicinity. Range based schemes use various techniques to first determine distances between nodes range to a number of their neighbors and then calculate the location with using the geometric principles. They require more sophisticated hardware to measure range metrics such as Time of Arrival (TOA), Time Difference of Arrival (TDOA), Angle of Arrival (AOA) and Received Signal Strength Indicator (RSSI).

- **Time of Arrival (TOA)**

The distance between the receiver node and a reference point is determined by the time of flight of the communication signal. In the Time of Arrival (ToA) technique, all sensors transmit a signal to their neighbors of a given, predefined speed that is the same for all sensors. They, in turn, each send a signal back to them. [4]

- **Angle of arrival (AOA)**

The Angle of Arrival (AoA) technique is also referred as Direction of Arrival (DoA). It estimates relative or absolute angles between neighbors. AOA is defined as the angle between the propagation direction of an incident wave and some reference direction, which is known as orientation. [5]

- **Time Difference of Arrival (TDOA)**

In this approach, the difference of arrival radio and ultrasound signal at different sensor nodes is used for target

location estimation. Each node is having microphone and speaker. Anchor node transmits signals to other nodes and waits for some fixed time, and then this node generates “chirps” with the help of speaker. When these signals are received by un-localized node, it turns on its microphone. When microphone identifies chirps it saves the time. This time information is used by un-localized node for determining the distance between anchor node and itself. [5]

- **Received Signal Strength Indicator (RSSI)**

The distance between two nodes is taken as collected signal strength. It is conversely corresponding to the square of the distance it propagates and a known radio propagation model can be used to obtain the distance between the nodes using it. RSSI offers low cost but signals are vulnerable to noise and interference. [6].

2) RANGE-FREE LOCALIZATION

Range-free localization algorithm mainly includes DV-hop algorithm, Multi-Hop, Approximate Point in Triangle (APIT), and centroid algorithm Gradient algorithm. Range-free algorithms mainly use the geometric relationship between neighboring nodes to estimate localization. They have low hardware requirements, but the localization accuracy is too low for indoor environment.

- **Dv-Hop**

In Dv-Hop algorithm, for a node, the distances to anchors can be described by the minimum number of network hops between node and anchors and per hop distance obtained through anchor communication. Then, given distances to and absolute positions of at least three different anchors, all nodes can calculate their own absolute positions via triangulation. Localization error will grow if node degree is decreasing when using the DV-hop technique. [7]

- **Multi Hop**

Multi Hop algorithm are able to estimate a connectivity graph. The multi dimensional scaling (MDS) uses connectivity information considering the nodes are within the communication range. This technique has three steps [8] as follows :

- ❖ In the first step, the distance estimation between each viable pair of nodes is done.
- ❖ In the second step, MDS is used for deriving the locations to fit the estimated distance.
- ❖ Finally, in the last step, optimization is done by putting the known locations into account.

In large scale sensor networks, there are several kind of MDS methods are used such as metric, non metric, classical, weighted. The multi hop based multilateration process allows multi hop nodes to collaborate in finding better position estimates.

- **APIT**

APIT localization algorithm is an area-based, range-free localization method. This algorithm computes locations for nodes by determining the smallest possible area in which the node may be located. Only the most fundamental properties of radio wave propagation are assumed the monotonicity of the reduction in radio signal strength along a single direction. The main disadvantage of APIT is that the algorithm’s precision depends heavily on the node density and radio range. It is shown that the APIT scheme performs best when an irregular radio pattern and random node placement are considered. [7]

- **Centroid**

Centroid algorithm uses proximity based grained localization algorithm. In centroid localization algorithm [9], node’s location is computed on the basis of several reference node positions. The centroid localization algorithm uses the location (xi, yi) of anchor nodes (reference node). After receiving the information, unknown node estimate their position by using following formula:

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left(\frac{X_1 + \dots + X_n}{N}, \frac{Y_1 + \dots + Y_n}{N} \right)$$

Where Xest and Yest are the estimated locations of unlocalized node.

- **Gradient**

In gradient algorithm, unknown nodes obtain their locations through multilateration. It also uses hop count which is initially set to zero and incremented as it propagates to other nearby nodes. Gradient algorithm follows certain steps such as the following :

- ❖ In the first step, anchor nodes broadcasts a message containing it is coordinated and hop count value.
- ❖ In the second step, unknown node determines the shortest path between itself and anchor node from which it receives beacon message [10], [11]. The estimated distance can be calculated by following equation :

$$d_{ji} = h_{j,Ai} d_{hop}$$

- ❖ Finally, in the last step, minimum error in which node calculates its coordinate is computed by following equation :

$$E_j = \sum_{i=1}^n d_{ji} - d^{ji}$$

Where d^{ji} is gradient propagation based estimated distance.

IV. ANALYSIS AND DISCUSSION

There are many parameters that need to be considering while implementing any localization techniques. These parameters help to find the difference and similarities between different approaches. These parameters are:

❖ Accuracy

It is a most important parameter for the localization. There are many applications like military installation for intrusion detection where accuracy is the main concern.

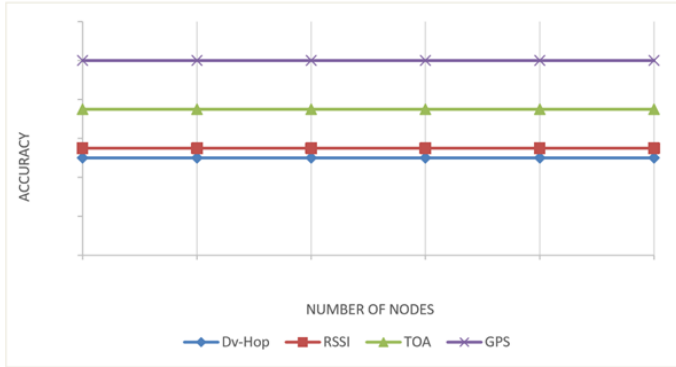


Fig 4 : Accuracy comparison of different localization mechanisms. [12]

❖ Cost

Cost is another important parameter and is the challenging issue for most of the localization techniques. There are many algorithms available which are not very costly but their accuracy is of very low rate.

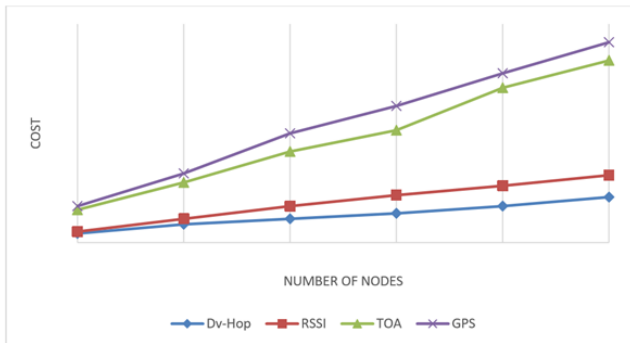


Fig 5 : Cost comparison of different localization mechanisms. [12]

❖ Power and Energy :

Sensor nodes have the limited power in the form of battery. So power is also the main concern while selecting any localization algorithms.

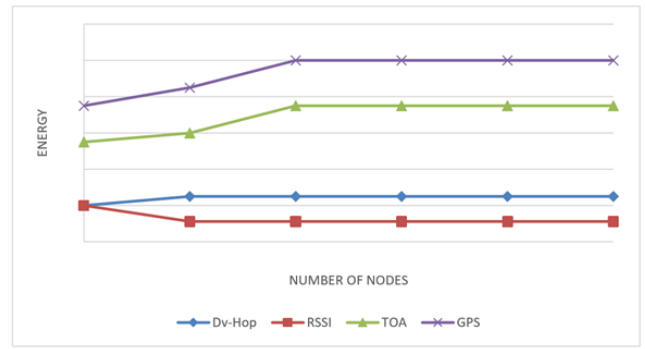


Fig 6 : Energy efficiency comparison of different localization mechanisms. [12]

❖ Comparison

Technique	Cost	Accuracy	Energy Efficient	Hardware Size
GPS	High	High	Less	Large
GPS Free	Low	Medium	Medium	Small
Centralized Based	Depends	High	Less	Depends
Decentralized Based	Depends	Low	High	Depends
TOA	High	Medium	Less	Large
TDOA	Low	High	High	Less complex, may be large
AOA	High	Low	Medium	Large
RSSI	Low	Medium	High	Small
DV-Hop	Low	Medium	High	Small
APIT	Medium	Medium	High	Medium
Multi-Hop	High	Medium	High	Small

Table1 : Comparison of different localization techniques. [12]

V. CONCLUSION

Wireless sensor network has drawn much more attentions than ever before. This concern is expected to grow further with the proliferation in sensor network applications. There are many techniques for localization; nevertheless, such approaches are desirable which are capable to take care of limited resources of sensor nodes.

In this paper, we present a classification and comparative study of localization techniques, then we provide a general overview of Rang Based and Rang Free schemes and we compare these algorithms on the basis of localization parameters. This comparison will help to wireless sensor network designer to choose the best method to implement.

References

- [1] Wellenhof, B. H., Lichtenegger, H., Collins, J.: Global Positioning System: Theory and Practice. Springer, 1997.
- [2] Localization systems for wireless sensor networks, azzedine boukerche, horacio a. B. F. Oliveira, eduardo f. Nakamura, fucapi, antonio a. F. Loureiro, *IEEE Wireless Communications* December 2007, 1536-1284/07/\$20.00 © 2007 IEEE.
- [3] P.K. Singh, Bharat Tripathi, Narendra Pal Singh, "Node Localization in Wireless Sensor Networks", *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol.2 (6), 2011, 2568-2572.
- [4] B. Hofmann-Wellenho, H. Lichtenegger, and J. Collins, *Global Positioning System: Theory and Practice*, 4th ed., Springer-Verlag, 1997.
- [5] N. B. Priyantha et al., "The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications," *7th ACM Int'l Conf. Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, July 2001*.
- [6] A. Youssef and M. Youssef, "A taxonomy of localization schemes for wireless sensor networks," in *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks (ICWN'07)*, pp.444-450, Las Vegas, Nev, USA, 2007.
- [7] He, T., Huang, C., Blum, B., Stankovic, J., Abdelzaher, T.: Range-free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks. In: *Proceedings of the Ninth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'03)*, pp.81-95, San Diego, CA, USA, 2003.
- [8] Savvides, A., Park, H., Srivastava, M.: The Bits and Flops of The n-Hop Multilateration Primitive for Node Localization Problems. In: *Proceedings of the 1st ACM international Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, pp.112-121, Atlanta, Georgia, USA, 2002.
- [9] Heidemann, J., Estrin, D., Bulusu, N.: GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices. *IEEE Personal Communication Magazine* 7(5): 28-34, 2000.
- [10] Stoleru, R., He, T., Stankovic, J.A.: Range Free Localization. In: *Chapter in Secure Localization and Time Synchronization for Wireless Sensor and Ad Hoc Networks*, Vol 30, pp.3-31, Springer, 2006.
- [11] Priyantha, N., Balakrishnan, H., Demaine, E., Teller, S.: Anchor Free Distributed Localization in Sensor Networks. MIT laboratory for Computer science, Technical Report TR-892, 2003.
- [12] Nabil Ali Alrajeh, Maryam Bashir, and Bilal Shams.: Localization Techniques in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks* Volume 2013, Article ID 304628, 9 pages.

A comparative overview between the IEEE Zigbee and the IEEE BAN standards for WBAN applications

Reda CHEFIRA

*LAMAI, Faculty of Sciences and Technologies
Cadi Ayyad University
Marrakesh, Morocco
chefira.reda@gmail.com*

Said RAKRAK

*LAMAI, Faculty of Sciences and Technologies
Cadi Ayyad University
Marrakesh, Morocco
srakrak@gmail.com*

Abstract— Wearable sensor networks are a forthcoming technology of wireless sensor networks that interconnect devices inside, outside and all around a body. Related to the realm of Internet Of Things, Its steady progress in the last few years continues to serve humanity in many fields viz. spots, healthcare and entertainment. Wireless Body Area Networks aims to exchange bio-sensed data with a base station via implanted and small-accompanied devices, in order to gather vital information about one's body behavior. To monitor critical knowledge like medical data, used smart devices face many technical needs such as large data-rates, short-range, energy efficiency and lifetime challenges. For a better performance, researchers seek to improve speed, accuracy and scalability. Wireless Personal Area Networks known as the 802.15 group supports these particular specifications using two main task groups: The 802.15.4 Zigbee and the 802.15.6 BAN standards. Each standard supports special topologies depending on the network communication range, frequencies, packet structures, data management and so on. WBAN has specific requirements viz. network topology, network scale, energy consumption, cost and complexity constraints and a lot of studies have been shown that the IEEE 802.15.4 cannot meet these requirements. To understand the applications more deeply and their specific characteristics, this paper surveys the concept of WBANs, the used IEEE standardizations, topologies and provide a better understanding of the key concepts of this emerging technology.

Keywords—WBANs; IEEE standards; zigbee; BAN; WSN; WPANs

I. INTRODUCTION

Because of the recent advancements in electronics and computing sciences, the development of efficient smart sensors become handy. This gave a powerful boost to the development of technology in the service of humanity in goal to enhance one's quality of life[1]. Nowadays, many fields are closely connected to wireless sensor networks viz. Healthcare[2], military[6] and entertainment[13]. Sensors are responsible of exchanging sensed data among network nodes and then send all data or targeted ones to base station. To monitor vital body parameters and movements, developing small-devices that needs short-range and large data rates considers many technical

challenges to perform well. Designed for this purpose, Wireless body area networks are a typical variant of Wireless Sensor Networks, can interact with Internet Of Things to incorporate limited number de tiny sensors implanted on, in or around bodies in order to gather vital data. WBANs use proprietary PHY and MAC protocols[3] simultaneously with existing WPAN standards. The literature discusses mainly two used technologies: the IEEE 802.15.4 Zigbee standard and the IEEE 802.15.6 BAN standard[4]. This paper is organized as follows: after this Introduction, section II gives a brief overview of used standards in Wireless Personal Area networks including those used in Wireless Body Area network projects. A complete investigation of the IEEE 802.15.4 and Zigbee standards is provided in section III. Section IV describes the IEEE 802.15.6 BAN standard, its topologies, PHY and MAC layers. Current work has been concluded in section V.

II. IEEE 802.15 WPANs

The 802.15 group of IEEE standards specifies a diversity of wireless personal area networks (WPANs) for different applications. The current list of active projects can be found on[5]. This group is divided into ten task groups with different specificities. We describe the three common used ones:

A. IEEE 802.15.1

The first task group of WPAN is based on Bluetooth technology[7]. It supports ad hoc, terrestrial and wireless standard for short-range communication. Moreover, it defines PHY and MAC characteristics for wireless connectivity. Designed for low cost devices, this technology includes three classes supporting variable ranges from one to 100 meters.

B. IEEE 802.15.4

Zigbee is a low tier, ad hoc, terrestrial and wireless standard based on 802.15.4 standard. It is used to create PAN with small and low-power digital radios. Its low power consumption limits transmission distances to 1–10m line-of-sight, depending on power output and environmental characteristics.

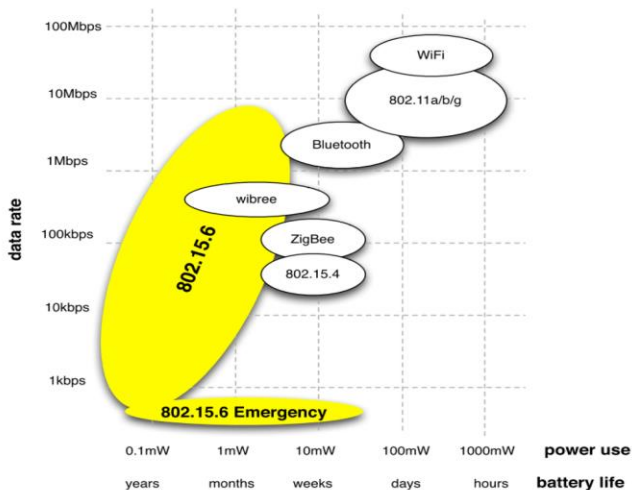


Fig. 1 : Power and Data Rate Requirements for the IEEE 802.15.6 WBAN [18]

C. IEEE 802.15.6

BAN task group is formed in November 2007 to focus on a low-power, low-complexity and short-range wireless standard. With its special design, it aims to optimize devices and operation on, in, or around bodies. The task group serves a variety of applications including medical (e-health) and also entertainment (gaming, sports). This make the communication much easier and more comfortable. Fig.1 shows a power level comparison between all the standards cited above. We can conclude the required specificities of WBANs in power and data rate.

III. IEEE 802.15.4 – ZIGBEE STANDARD

Based on previous version of IEEE 802.15.4 standard[8], Zigbee defines layer 3 and above as shown in fig.2. It differs from its predecessor in its ability to use aside physical and MAC layers, RF communication[9] and an efficient network system capable of allowing point to point energy communication. This standard can implement routing, encryption, application services on star, mesh and tree topologies, even authorize to reduce power while keeping the main node waiting for communication (semi-centralized network).

A. Topologies

Zigbee standard proposes three topology types out of four supported by 802.15.4. These common topologies are depicted below and illustrated in Fig. 3. It defines the network layer architecture for star, tree and mesh network topologies and affords in the application layer, a framework for application programming.

- Star topology: Nodes communicates only with the coordinator. Because of this packet exchange condition, the coordinator may become bottlenecked which can decrease the network’s lifetime.
- Mesh topology: Like tree topology, it consists of a coordinator, several routers and end devices too. This scalable topology supports a multiple-hop access for

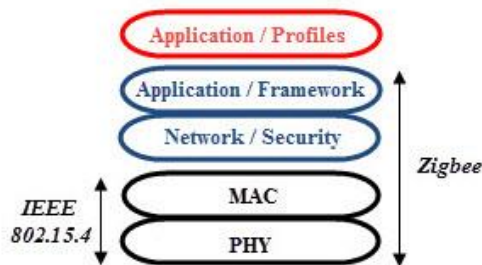


Fig. 2 : IEEE 802.15.4 and Zigbee layers

packets to rich their destination. Unlike the star topology, the node has alternative to choose several paths if the principal chosen one fails.

- Tree topology: The network consists of a central node, which is a coordinator, routers, and end devices. Only a coordinator and a router can have children. Its functions are similar to a cluster tree topology.

Table.1 shows a brief comparative overview of the main technical aspects for the star, mesh and tree topologies. It contains benefits and drawbacks of each topology.

B. PHY : Physical layer

The physical layer of the IEEE 802.15.4 supervises many functions viz. channel selection, energy and link quality estimation. It supports three frequency bands. Each one gathers a certain number of channels that use the direct sequence spread spectrum access mode.

C. MAC layer

In this layer, two different types of nodes, RFDs and FFDs define the MAC behavior. Reduced Function Devices nodes (RFDs) can only operate in a mode serving end device, and exchange sensed data with a single FFD. If nodes are Full Function Devices (FFDs), they can both act like a coordinator (PAN coordinator), and manage synchronization services, or like an end device and gather data with appropriate actuators. Generally, the IEEE 802.15.4 standard aims to ease installation and uses a short-range approach in order to optimize battery life. So a Personal Area Network act as a coordinator and may use a super frame under an active or an inactive portion. This depends on its energy status.

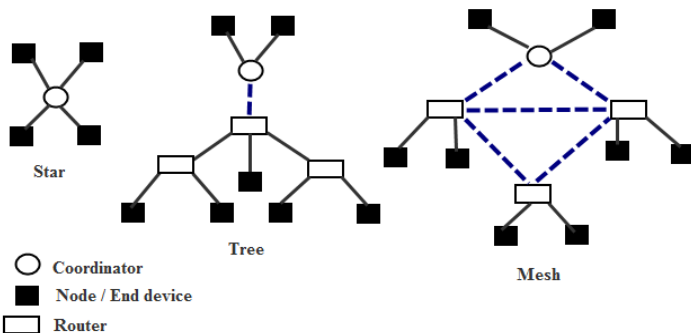


Fig. 3 : Zigbee Topologies

Fig. 4 shows the super frame structure under active and inactive portions. In the Inactive part, all devices sleep. Active portion consists of 16 slots that can be further divided into CAP and CFP. The competitive nodes use a slotted CSMA-CA protocol to contend for the usage of channel. If a node gets access to the Contention Access Period (CAP), it transmits its data once an access is guaranteed to the Contention Free Period (CFP). When an end-device needs to send data to a coordinator (non GTS) it must wait for the beacon to synchronize and later contend for channel access[17]. End devices use to sleep most of the time in order to save their battery life and wake up only to check if there is a need to receive a message from the coordinator. A GTS, allocated by the PAN coordinator allows devices to operate on the channel within a portion of the superframe.

D. Upper layers

Zigbee aims to standardize the higher layers of the IEEE 802.15.4. The Network layer (NWK) manages not only the routing protocols in the network but also assures reliability and security for transmissions among devices. Zigbee uses the mentioned above topologies. In a Tree network topology, address assignment is utilized to retrieve the routing paths. While receiving a packet, the node checks if it is destined to it or to one of its end devices. If so, the package is forwarded, otherwise, the node’s role is to relay the package to other nodes along the tree. The Mesh topology is characterized by two different options, reactive routing and tree routing, depending on the routing capacity. The Application Support Sublayer (APS) affords the necessary services for endpoints and the Zigbee Device Object (ZDO) in order to transfer data in a unified communication structure. The managing role to control device types, network and check for security services.

Table. 1 : Benefits and drawbacks of Zigbee topologies

Topologies	Technical analysis	
	Benefits	Drawbacks
Star	Synchronization Low latency Low power operations	Small scale
Mesh	Resilience Expandability Low latency	Sleep mode Storage
Tree	Support sleep mode Multihop communication	Long latency

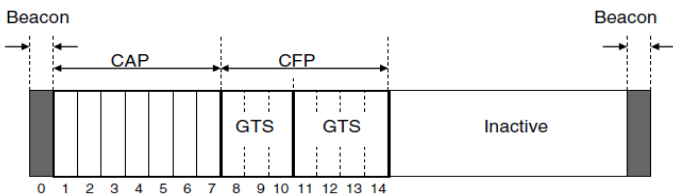


Fig. 2 : Super frame for Mac Layer

A. Topologies

BAN proposes two topology types. Since all nodes and the coordinator are directly connected and exchange data in the network, the topology seems to define itself as a one-hop star. A two-hop extended star topology can also occur if there is a relay capable of exchanging data between the hub and a node. Fig. 5 shows these two possible topologies.

Star topology allows two different communication methods, beacon and non-beacon modes. In beacon mode, the network coordinator controls communication, defines the start and the end of a super frame. The user manages the length of the beacon and defines the duty cycle of the system[12]. However, in the non-beacon mode, a node poll the coordinator after powering up to receive data.

B. PHY : Physical Layer

The IEEE 802.15.6 standard defines three PHY distinct layers viz. Narrow Band (NB), Ultra-wide Band (UWB) and Human Body Communications (HBC)[10]. Every BAN has one coordinator (or hub); while there can be up to 64 nodes [11]. The function of the hub is to establish a time base dividable into beacon periods.

- NB: The Narrow Band physical layer activates/deactivates, along the channel, both the node sensors and data transmission. NB is also clearing channel assessment (CCA) within the current channel that is responsible of transmitting the signal. A physical-layer service data unit (PSDU) becomes a physical-layer protocol data unit (PPDU). Both physical-layer preamble and physical-layer header serve to decode and demodulate the PSDU. Fig. 6 illustrates the schema description.
- UWB: Ultra Wide Band layer supports two frequency bands, a lower and a higher one. The lower bandwidth consists of eight channels, whereas the higher band has 3 channels. Each channel has its own specified frequency and number. To be compatible with UWB, a device needs to support at least one of these channels.
- HBC: The Human Body Communications PHY technology is based on electric field communication (EFC) and has two frequency bands. It contains a PLCP preamble, a frame check sequence (FSC), a PLCP header and a payload (PSDU).

C. MAC layer

In Wireless body area networks the entire channel is divided into super frame structures. A beacon period bounds each super frame and the hub selects these boundaries in order to opt for the allocation slots[16]. The MAC layer supports three different modes and any phases are active in these methods viz. Exclusive Access Phase (EAP), Random Access Phase (RAP), Contention Access Phase (CAP) and finally TYPE I/II phases:

- Beacon mode with super frame boundaries, where every beacon period receives a beacon frame or a signal sent by the hub. Super frames contains many slots. Beacons in this mode are characterized by the role of initialization, identification and network management.
- In the non-beacon mode with super frame boundaries, the transmission time depends on the start of the current super frame. It is given by a T-poll period that control both timestamp and synchronization.
- Finally the non-beacon mode without superframe boundaries, unlike the other modes, there are no super frame boundaries and only an unscheduled type II polling access method is provided by the hub.

- CSMA/CA: This mechanism grants some privileges like start, use, modify, abort and end a contended new allocation.
- Unscheduled and Improvised Access: The hub may use these two mechanisms in some particular conditions such as emergency communication service. Depending on the allocation, nodes can sleep to save their battery life. Both employ unscheduled polling and posting access but unlike unscheduled access, improvised access has the privileges in poll and post allocations of a RAP.

V. CONCLUSION

In this paper, we presented an overview of the two main standards used in Wireless Body Area Networks, namely the IEEE 802.15.4 Zigbee and the IEEE 802.15.6 BAN. We highlighted the topologies, PHY and MAC layers in order to illustrate the major specificities of each standard. This paper can be useful for a common usage to understand the key concepts of WBANs standards. As a future work, the challenges in these protocols will be examined and an application oriented Internet of Things will be done. In order to do so, a routing analysis work is required to optimize QoS specifications such as delay and reliability.

References

- [1] CHEN, Min, GONZALEZ, Sergio, VASILAKOS, Athanasios, et al. Body area networks: A survey. *Mobile networks and applications*, 2011, vol. 16, no 2, p. 171-193.
- [2] HAMD, Omessaad, CHALOUF, Mohamed Aymen, OUATTARA, Dramane, et al. eHealth: Survey on research projects, comparative study of telemonitoring architectures and main issues. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, vol. 46, p. 100-112.
- [3] SEO, Young-Sun, KIM, Dae-Young, CHO, Jinsung, et al. OCPD: a WBAN MAC protocol for contention-based medical and CE applications. In : *Proceedings of the 4th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*. ACM, 2010. p. 12.
- [4] Wireless Body Area Networks Standard, IEEE Std. 802.15.6, Feb. 2012
- [5] IEEE 802.15 web site : <http://www.ieee802.org/15/>
- [6] QADRI, Syed Furqan, AWAN, Salman Afsar, AMJAD, Muhammad, et al. APPLICATIONS, CHALLENGES, SECURITY OF WIRELESS BODY AREA NETWORKS (WBANS) AND FUNCTIONALITY OF IEEE 802.15. 4/ZIGBEE. 2013.
- [7] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std 802.15.1-2005, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs), 14 June 2005- "<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2005.pdf>"
- [8] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std 802.15.4-2006, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 8 September 2006. "<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2006.pdf>"
- [9] GILL, Khusvinder, YANG, Shuang-Hua, YAO, Fang, et al. A zigbee-based home automation system. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 2009, vol. 55, no 2, p. 422-430.
- [10] KWAK, Kyung Sup, ULLAH, Sana, et ULLAH, Niamat. An overview of IEEE 802.15. 6 standard. In : *Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL)*, 2010 3rd International Symposium on. IEEE, 2010. p. 1-6.

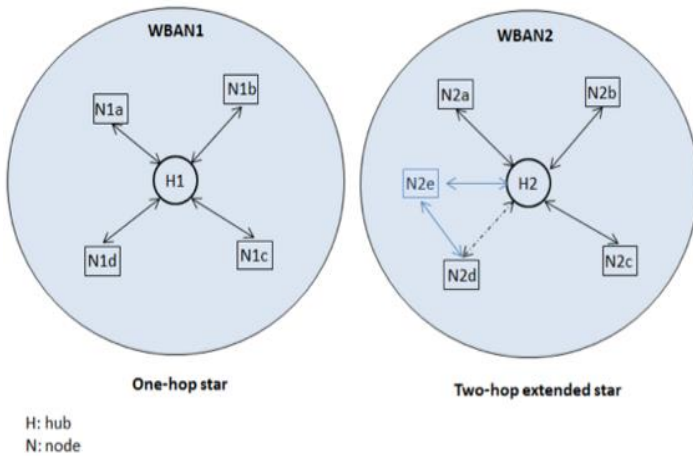


Fig. 5. BAN topologies [11]

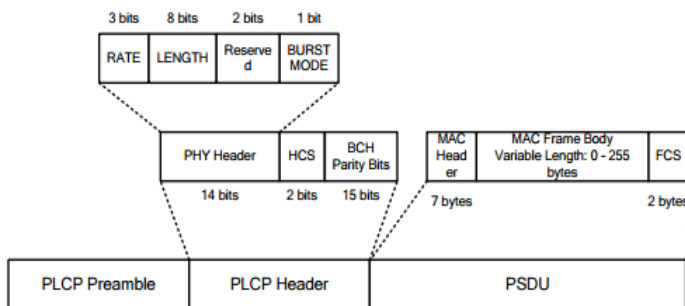


Fig. 6. PPDU structure [15]

D. Access mechanisms

CSMA/CA and slotted aloha access are the main access methods employed in BAN standard together with Exclusive Access Phase (EAP), Random Access Phase (RAP) and Contention Access Phase (CAP) for the allocations. The EAP is used for high priority traffic when a node sends data types frames in an emergency access phase, whereas the CAP and RAP are used for regular traffic. We explain briefly the three mechanisms depicted below as follows:

- Slotted Aloha Access: In the network, a node obtains an allocation based on contention probability. This mechanism allows nodes the same privileges that a CSMA/CA mechanism offers.

- [11] ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works, website: www.zigbee.org.
- [12] SUKOR, Marina, ARIFFIN, Sharifah, FISAL, Norsheila, et al. Performance study of wireless body area network in medical environment. In : Modeling & Simulation, 2008. AICMS 08. Second Asia International Conference on. IEEE, 2008. p. 202-206.
- [13] MOVASSAGHI, Samaneh, ABOLHASAN, Mehran, LIPMAN, Justin, et al. Wireless body area networks: A survey. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2014, vol. 16, no 3, p. 1658-1686.
- [14] Sukor, M., Ariffin, S., Faisal, N., Yusof, S. K. S., & Abdallah, A. (2008, May). Performance study of wireless body area network in medical environment. In Modeling & Simulation, 2008. AICMS 08. Second Asia International Conference on (pp. 202-206). IEEE.
- [15] David Davenport, Neal Seidl, Jeremy Moss, Maulin Patel, Anuj Batra , Jin-Meng Ho, Srinath Hosur, June Chul Roh, Tim Schmidl, Okundu Omeni, Alan Wong, "MedWiN Physical Layer Proposal," Project: IEEE P802.15 Working Group Project: IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks for Wireless Personal Area Networks (WPANs) "<https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/09/15-09-0328-01-0006-medwin-physical-layer-proposal-presentation.pdf>".
- [16] 802.15.6-2012 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks.
- [17] Paolo Baronti , Prashant Pillai , Vince W. C. Chook , Stefano Chessa , Alberto Gotta , Y. Fun Hu, Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards, Computer Communications, v.30 n.7, p.1655-1695, May, 2007
- [18] 802.15.6-2012—IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 15.6: Wireless Body Area Networks. IEEE Standard Association: Piscataway, NJ, USA, 2012.

Hyperbolic equation solving algorithms for LTE mobile positioning using TDOA measurements.

I. EL MOURABIT, A. BADRI, A. SAHEL, A. BAGHDAD

EEA&TI laboratory Faculty of Science and Techniques (FSTM), Hassan II University of Casablanca, BP 146, Mohammedia, Morocco

elmourabit.ilham@gmail.com

Abstract -- In this paper, we investigate the performance of positioning algorithms based on time difference of arrival (TDOA) measurements provided by the base stations or eNodeBs in LTE (Long Term Evolution) context. Using the TDOA approach the localization process of the mobile User equipment results in a non-linear least squares estimation problem which cannot be solved analytically. Therefore, there is different algorithms that could be used to determine an estimate of the mobile station position. As for the Gauss-Newton method, it fails to converge for certain geometric constellations, and thus, it is not suitable for a general solution in cellular networks. Another algorithm is the steepest descent method which has a slow convergence in the final iteration steps. Hence, we apply the Levenberg-Marquardt algorithm as a new approach in the LTE network localization framework. We show that this method meets the best trade-off between accuracy and computational complexity by a comparative study deploying the three algorithms in the same simulation environment and investigating their performances.

Keywords -- LTE, positioning, TDOA, correlation, steepest-descent, Gauss-Newton, Levenberg-Marquardt, solving algorithms, hyperbolic equations

I. INTRODUCTION

Location Based services (LBS) refers to services that utilize the position estimate of a mobile station. As specified in [1], there are four categories of location services: commercial LBS, internal LBS, emergency LBS, and lawful intercept LBS. The demand to locate mobile phones in the case of emergency calls is commonly accepted as the main driving force for LBS regarding the great benefit of such services in rescuing operations. One of the most common techniques to locate a User Equipment is the well-known Global Positioning System (GPS), however, Due to the low power of global Navigation Satellite Systems (GNSS) signals, their performances are limited in indoor environments and NLOS (Non Line Of Sight) cases which led researchers to show an interest in position estimation methods based on cellular networks.

Mobile positioning techniques based on cellular networks has gained more interest due to their high accuracy and availability, also Location based services plays a fundamental role in the future of wireless networks. Several studies are carried out to create innovative and new applications that will make it easier to improve our life style.

LTE steps towards the fourth generation of mobile communications. Most of its standards, set by the 3GPP, has been inherited from the UMTS (Universal Mobile Communication System). The main new features introduced

by the LTE are the Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA), Multiple Input Multiple Output (MIMO) data transmission and Positioning Reference Signal (PRS) [2].

The aim of cellular positioning is to find the position of user equipment (UEs) in a noisy environment without external assistance. In cellular localization, the locations of eNodeB are fixed and known while those of UEs are unknown and need to be determined. Among the positioning techniques used by cellular networks we find: Assisted-GNSS, enhanced Cell-ID (e-CID) and Observed Time difference Of Arrival (OTDOA). In this paper, we are interested in OTDOA since the LTE standard use a dedicated downlink positioning reference signal (PRS) to perform the time measurements needed to estimate the UE location.

In this paper, we will focus on processing TDOA measurements in which results a non-linear estimation problem where no analytical solution is possible (only geometrically), firstly, we will present the iterative Gauss-Newton and the Steepest Descent methods as the standard solutions for the occurring non-linear least square problems, then we will introduce the Levenberg-Marquardt algorithm as a new approach in the context of position estimation in LTE network. Finally, simulation results are presented to show the performance of the LM algorithm with the best trade-off between accuracy and computational complexity.

II. SYSTEM MODELING

Observed Time Difference of Arrival (OTDoA) is a multi lateration method in which the mobile station measures (MS) the TDOA of signals received from multiple base stations (BS). Geometrically, each TDOA determines a hyperbola, and the desired MS location is their intersection. The time Synchronized eNodeBs are dispatched in a cellular network with the same cell radius R. The unknown MS position is presented by a two dimension vector $\mathbf{x} = [x, y]^T$ and a limited number N_{eNB} of nearest eNodeBs, with known locations \mathbf{x}_j , $j \in \{1, 2, 3 \dots N_{eNB}\}$ are used for the position estimation. The distance between an eNB and the MS is given as:

$$r_j(\mathbf{x}) = \|\mathbf{x}_j - \mathbf{x}\| = \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2} \quad (1)$$

By the known mathematical equation expressing the distance as a function of time and speed, in the following sections the distance and time of arrival are considered as equivalent, And thus the TDoAs for eNB j with regard to

eNB1 can be written as

$$d_{j,1}(x) = r_j(x) - r_1(x) \quad (2)$$

Where, without loss of generality, we use eNB1 as the reference eNB. The at most $N_{eNB}-1$ linear independent TDoAs are combined in one vector $\mathbf{d}(x)$, where

$$\mathbf{d}(x) = [d_{2,1}(x), d_{3,1}(x), d_{4,1}(x), \dots, d_{N_{eNB},1}(x)]^T \quad (3)$$

In a realistic context the signal is transmitted with an attached noise signal, here we take it as a zero-mean Additive White Gaussian Noise (AWGN), and the corresponding TDoA is given by:

$$\mathbf{d} = \mathbf{d}(x) + \mathbf{n} \quad (4)$$

Where $\mathbf{n}=[n_{2,1}, n_{3,1}, \dots, n_{N_{eNB},1}]^T$.

The corresponding TDoAs measurements are given by:

$$\mathbf{d} = [d_{2,1}, d_{3,1}, d_{4,1}, \dots, d_{N_{eNB},1}]^T \quad (5)$$

These TDoAs generate a hyperbola per each pair of eNB, the intersection of their plot give an estimate of the unknown MS position as shown in figure 1.

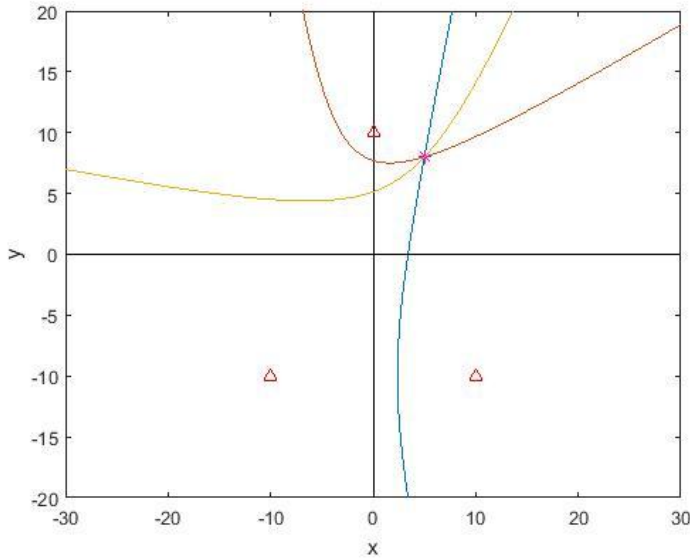


Fig. 1. Hyperbolic intersection position estimate principle

III. NON-LINEAR EQUATION SOLVING ALGORITHMS

Following the system model described in the previous section, and applying the weighted non-linear least squares method we minimize the cost function

$$\varepsilon(x) = (\mathbf{d} - \mathbf{d}(x))^T \Sigma_n^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{d}(x)) \quad (6)$$

And the unknown mobile position x is described as follow:

$$\hat{x} = \underset{x}{\operatorname{argmin}} \varepsilon(x) \quad (7)$$

There is no closed form solution to the non linear optimization problem given above; hence iterative techniques are described in the following.

1. Gauss-Newton

The Gauss-Newton algorithm linearizes the system model described in equation (4) about some initial value $\mathbf{x}^{(0)}$, [3] [4] which gives:

$$\mathbf{d}(x) \approx \mathbf{d}(\mathbf{x}^{(0)}) + \boldsymbol{\varphi}(x)|_{x=\mathbf{x}^{(0)}} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^{(0)}) \quad (8)$$

$$\boldsymbol{\varphi}(x) = \nabla_x^T \times \mathbf{d}(x) \quad (9)$$

With the elements of the $2 \times (N_{eNB} - 1)$ Jacobian matrix

$$\boldsymbol{\varphi}(x) = \begin{bmatrix} \frac{x-x_2}{r_2} - \frac{x-x_1}{r_1} & \frac{y-y_2}{r_2} - \frac{y-y_1}{r_1} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{x-x_{N_{eNB}}}{r_{N_{eNB}}} - \frac{x-x_1}{r_1} & \frac{y-y_{N_{eNB}}}{r_{N_{eNB}}} - \frac{y-y_1}{r_1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\text{w.r.t } \nabla_x = \left[\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right]^T$$

Using equations (6) and (8), the linear least squares procedure is applied resulting in the following iterated solution

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} + (\boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{x}^{(k)}) \Sigma_n^{-1} \boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{x}^{(k)}))^{-1} \quad (11)$$

$$\cdot \boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{x}^{(k)}) \Sigma_n^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{d}(\mathbf{x}^{(k)})) = \mathbf{x}^{(k)} + \mathbf{A}^{(k,-1)} \mathbf{g}^{(k)}$$

In case of good initial values GN provides a fast convergence and accurate estimate of the unknown MS position. In the other hand, for an environment with bad geometric constellation and poor initial values the GN algorithm shows a diverging behavior.

2. Steepest Descent

The Steepest Descent algorithm [3] is a gradient based procedure characterized with a search direction $\nabla_x \varepsilon(x)$ and a step size μ .

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} - \mu^{(k)} \boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{x}^{(k)}) \Sigma_n^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{d}(\mathbf{x}^{(k)})) = \mathbf{x}^{(k)} - \mu^{(k)} \mathbf{g}^{(k)} \quad (12)$$

To find a step size in the easiest yet suboptimum way, it is recommended to choose a constant $\mu^{(k)} = \mu$ for all iteration steps. The optimum step size for each iteration k can be determined using an optimum line search approach given by the following non linear problem:

$$\mu^{(k)} = \underset{x}{\operatorname{argmin}} \varepsilon(\mathbf{x}^{(k)} - \mu^{(k)} \mathbf{g}^{(k)}) \quad (13)$$

This method is called a Steepest Descent with optimum Line Search (SDOLS). Due to the high computational complexity for evaluating the step size at each iteration, it is recommended to use the constant step size method. The main drawback of the SD algorithm is the slow convergence in the final iteration steps.

3. Levenberg-Marquardt

In this section we introduce the Levenberg-Marquardt [5] [6] as the adequate approach to minimize the cost function and correct the problems of the standard Gauss-Newton (robustness) and Steepest-Descent (slow convergence).

The LM algorithm has been introduced first in other applications, but newly used in the context of positioning approaches. It is based on a damped GN procedure as described by:

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} + (\boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{x}^{(k)}) \boldsymbol{\Sigma}_n^{-1} \boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{x}^{(k)}) + \beta^{(k)} I_2)^{-1} \cdot \boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{x}^{(k)}) \boldsymbol{\Sigma}_n^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{d}(\mathbf{x}^{(k)})) \quad (14)$$

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} + (\mathbf{A}^{(k)} + \beta^{(k)} I_2)^{-1} \mathbf{g}^{(k)} \quad (15)$$

The damping parameter $\beta^{(k)}$ ensure that the belonging matrix, compared to GN, can always be inverted which provides a much robust implementation. The damping parameter and the MS position estimate can be determined using the algorithm introduced in [7]. The LM algorithm provides a fast convergence and very robust against inaccurate initial values.

IV. SIMULATION RESULTS

In this section, we simulate the previously proposed algorithms in a cellular network structure of three eNodeBs ($N_{eNB}=3$) and a constant noise power for all the used links from eNB to the Mobile Station ($\boldsymbol{\Sigma}_n = \sigma^n I_{N_{eNB}-1}$).

The performance bound is given by the Cramer-Rao Lower Bound (CRLB) parameter defined by:

$$CRLB(\mathbf{x}) = \sqrt{(\boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{x}) \boldsymbol{\Sigma}_n^{-1} \boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{x}))^{-1}} \quad (16)$$

We are interested in the positioning accuracy for all possible MS locations within the cellular network. So, we introduce the mean value of the bound for the whole network $\overline{CRLB} = E_x \{CRLB(\mathbf{x})\}$. This bound is compared to the achievable accuracy represented by the Root Mean Square Error (RMSE) for the three algorithms

$$RMSE = \sqrt{E_x \{\|\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}\|_2^2\}} \geq \overline{CRLB} \quad (17)$$

The initial value for the iterative algorithms is the mean value of the positions of all involved eNBs, given as:

$$\mathbf{x}^{(0)} = \frac{1}{N_{eNB}} \sum_{j=1}^{N_{eNB}} \mathbf{x}_j$$

In figure 2, we represent the convergence of the three algorithms toward the pre-calculated \overline{CRLB} . The GN algorithm provides the fastest convergence (case of good initial value). The SD with $\mu=0.43$ still have the slower convergence rate compared to GN and no improvement can be achieved after the 18th iteration. As for the LM approach, it converges after the 5th iteration step and reaches nearly \overline{CRLB} .

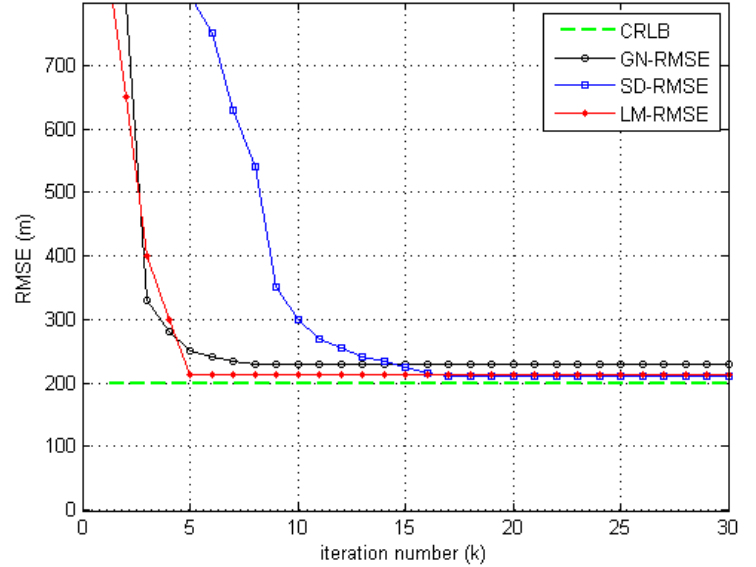


Fig. 2. RMSE vs iteration number k for $\sigma^n = 200\text{m}$

Since we are interested in the performances of non-linear solving algorithms in term of convergence, their computational complexity should be investigated as well to make sure the proposed approach provides the best trade-off between the two criteria. In figure 3, we present the Floating point Operations (FLOPs) as a measure of the computational complexity of the three methods.

It is clearly shown that the Levenberg-Marquardt offers the best trade-off between performance and complexity. Although the number of FLOPs is higher than those of GN and SD for each iteration but it still providing z better performance (since we are in the worst case scenario according to [7]).

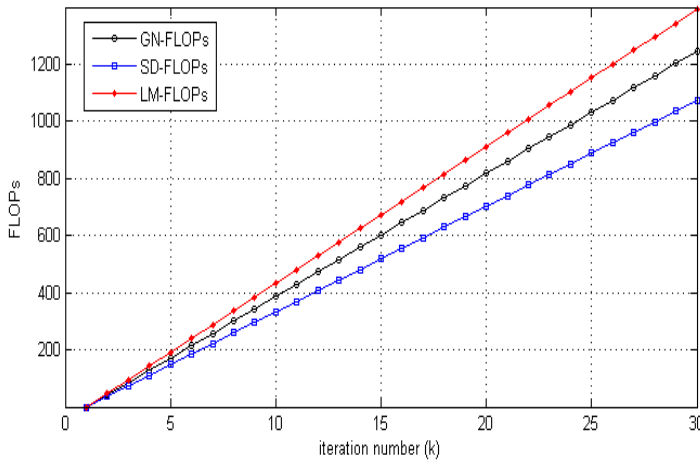


Fig. 3. FLOPs vs iteration number k for $\sigma^n = 200m$

V. CONCLUSION

In this work, we investigated the performance of three different approaches to solve the non-linear problem describing the TDoAs measurement for a Mobile user. The Gauss-Newton method diverges for inaccurate initial value and the Steepest Descent shows a slow convergence rate in the final steps. However, the Levenberg–Marquardt algorithms successfully avoids these problems and offers the best trade-off between computational complexity and convergence to an accurate estimate of the Mobile Station position in a cellular network. For the future work, this solving approach will be implemented in a realistic LTE environment and improved to maintain its high performance.

REFERENCES

- [1] 3GPP, TS 25.305 "UMTS UE positioning in Universal Terrestrial Radio Access Network UTRAN" version 11.0.0 Release 11. <http://www.3gpp.org/DynaReport/25305.htm>
- [2] J. A. Del Peral-Rosado, J. A. Lopez-Salcedo, G. Seco-Granados, F. Zanier, and M. Crisci, "Preliminary analysis of the positioning capabilities of the positioning reference signal of AGGP LTE", in Proc. 5th Eur. Workshop on GNSS signals and signal processing, Dec. 2011.
- [3] F. Gustafsson and F. Gunnarsson, "Mobile Positioning Using Wireless Networks," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 22, no. 4, pp. 41–53, July 2005.
- [4] W. Foy, "Position-Location Solutions by Taylor-Series Estimation," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 12, pp. 187–193, March 1976.

- [5] K. Levenberg, "A Method for the Solution of Certain Problems in Least Squares," Quarterly of Applied Mathematics, vol. 2, pp. 164–168, 1944.
- [6] D. Marquardt, "An Algorithm for Least Squares Estimation on Nonlinear Parameters," SIAM Journal on Applied Mathematics, vol. 11, pp. 431–441, 1963.
- [7] Christian Mensing and Simon Plass "Positioning algorithms for cellular networks using TDOA" in ICASSP 2006.

Clustering-based Hierarchy Protocol for Wireless Sensor Networks

Omar Moussaoui

*University of Mohammed I
ESTO, MATSI Lab,
B.P 473, 60000 Oujda – Maroc
omar.moussaoui78@gmail.com*

Adlen Ksentini

*University of Rennes I
IRISA/INRIA Lab,
C U. Beaulieu 35042 Rennes – France
Adlen.ksentini@irisa.fr*

Abstract—prolonged network lifetime, scalability, and load balancing are important requirements for many wireless sensor network applications. Clustering sensor nodes is an effective approach for achieving these goals. In this paper, we propose a Distributed Energy-efficient Clustering-based Hierarchy Protocol (DECHP), which distributes the energy dissipation evenly among all sensor nodes to improve network lifetime and average energy savings. The performance of DECHP is then compared to clustering-based schemes such as Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH), LEACH-Centralized (LEACH-C), and Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS). Simulation results show that DECHP reduces overall energy consumption and improves network lifetime over its comparatives.

Index Terms— Sensor networks, clustering, routing, energy-efficiency, network lifetime.

I. INTRODUCTION

Recent developments in low-power wireless integrated micro-sensor technologies have made sensor nodes available in large number, at low cost, to be employed in wide range of applications such as military, national security, environmental monitoring, and many other fields [1]. Wireless sensor networks consist of hundreds to thousands of low-power multifunction sensor nodes, operating in an unattended environment, with limited computational and sensing capabilities. The main roles of sensor nodes in the network are to collect and report application-specific data to the monitoring node, known as the BS (Base Station). Therefore, sensor power consumption patterns can be divided into three domains: sensing, data processing and communication. Since sensor nodes carry limited and non-replaceable power sources, the efficiency of energy use determines the lifetime of the sensors and, consequently, the duration of the sensing task.

Various works to achieve an efficient use of energy have been researched in the literature. Among such works, routing protocols based on clustering approach are viewed as superior, because they can potentially reduce energy consumption in multiple ways. For example, a clustering hierarchy can reduce the amount of query packets via inter-cluster query dissemination that reduces the amount of data packets by aggregating collected data. A clustering hierarchy may also control a minimal number of active nodes to cover the target area, by putting redundant sensor nodes to sleep. Moreover, clustering is particularly useful for applications that require scalability to hundreds or thousands of nodes. Scalability in this context implies the need for load balancing and efficient resource utilization.

In the clustering-based routing schemes, a set of CHs (Cluster Heads) are selected among the nodes in the network, and then the rest of the nodes are grouped with these heads. In this context, CHs are responsible for coordination among the nodes within their clusters (intra-cluster coordination) as well as communicating with other CHs (inter-cluster communication). The other sensor nodes have just to transmit their information to their respective CH, which aggregates the received information and forwards it to the BS. However, hierarchical-clustering scheme deals with some constraints. The most relevant concerns the Cluster-Head (CH) reelection process. Actually, to alleviate the large amount of energy consumption required by a CH, frequent reconfigurations of clusters are needed. Moreover, partitioning the network in clusters as well as choosing a CH optimally is an NP-hard problem [2]. The existing solutions to this problem are based on heuristic approaches and none attempts to retain the stability of the network topology. We believe that a good clustering scheme should preserve its structure as much as possible when nodes are moving and/or the topology is slowly changing. Otherwise, re-computation of cluster heads and frequent information exchange among the participating nodes will result in high computation overhead.

In this article we propose a novel routing scheme based on clustering called DECHP (Distributed Energy-efficient Clustering-based Hierarchy Protocol), which utilizes a fully distributed approach to set up clusters and routing paths, performs rotation of cluster heads, and carries out other energy intensive tasks. The proposed algorithm partitions the network into different clusters based on:

- i) The cluster size (number of sensors): this equilibrates the cluster in terms of sensors nodes present in the cluster by defining a threshold of sensor nodes that a cluster can regroup (depending on CH capacity to handle traffics).
- ii) The distance between the nodes constituting the cluster: this allows an improvement of the communication quality by reducing the interferences, wireless fading as well as the energy consumption.
- iii) The energy level of each node: this leverages the network lifetime by balancing the energy capacity all over the clusters.

After the creation of the clusters, a CH is elected from each cluster. Then, CHs use a geographical and energy aware neighbour CHs selection to join the BS (Base Station). All non-cluster head nodes transmit their data to the CH, while the CH node receives data from all the cluster members, performs signal processing functions on the data (data aggregation) and

transmits data to its upper level CH and so on till the data reaches the BS. However, since the CH is limited by the energy, a reconfiguration procedure is usually required in wireless sensor networks. Unlike the other existing clustering schemes where the CH reconfiguration is invoked periodically resulting in high communication overhead, DECHP is adaptively invoked to change only the CHs by taking into account their remained energy levels. That is, the cluster creation is made only at the system activation, afterwards only the CHs are changed.

The remainder of this paper is organized as follows. Section II briefly surveys related work. Then we introduce in section III network, radio and data correlation models that our research is based on. A detailed description of DECHP is presented in section IV, and simulations are given in section V. Finally, we conclude this paper in section VI.

II. RELATED WORK

An excellent survey on sensor networks is presented in [1]. A survey on routing protocols is given in [3]. According to this survey, routing protocols can be classified into data centric, location based and hierarchical.

Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN) [4], Directed Diffusion [5], Energy Aware Routing [6], and Rumor Routing [7] are examples of data centric protocols. In such protocols, the nodes are queried based on some attributes of the data (the data is named), and therefore no specialized nodes are needed and the overhead of the communication is minimized. However, the naming schemes are usually application dependent and further research needs to be carried out for an efficient naming scheme capable of handling complex queries.

Minimum Energy Communication Network (MECN) [8], Small-MECN (SMECN) [9], Geographic Adaptive Fidelity (GAF) [10], and Geographic and Energy Aware Routing (GEAR) [11] are location based protocols. Although it has been shown in [12] that routing protocols that do not use geographical location information are not scalable (e.g., traditional ad-hoc protocols such as DSR and AODV), the number of proposed energy-aware location based protocols is still quite small. Research challenges include the efficient use of the location information in an energy efficient routing mechanism, and the interaction with data aggregation and fusion mechanisms.

Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) [13], Threshold-Sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (TEEN) [14], Power-Efficient Gathering in Sensor Information System (PEGASIS) [15], and self-organizing protocol [16] are examples of hierarchical protocols based on clustering. In such protocols, a set of nodes are selected as CHs, sometimes randomly and sometimes as specialized nodes with less power constraints, and then the rest of the nodes are grouped with these heads. The cluster head is responsible for aggregating the cluster data and delivering it to the BS. Further research needs to be performed in order to minimize the overhead when forming clusters and to optimize cluster-head communication.

Diverse clustering techniques, such as K-Means, G-Means, or hierarchical clustering [17] have been proposed for partitioning data sets based on a parameter, e.g., distance. These approaches are not directly applicable to our problem because they iteratively optimize a cost function. This entails centralized control and excessive message exchange to propagate information.

Several alternative distributed clustering approaches have been proposed for mobile ad-hoc networks and sensor networks. The Distributed Clustering Algorithm (DCA) [18] assumes quasi-stationary nodes with real-valued weights. The Weighted Clustering Algorithm (WCA) [19] combines several properties in one parameter (weight) that is used for clustering. In [20], the authors propose using a spanning tree (or BFS tree) to produce

clusters with some desirable properties. Energy efficiency, however, is not the primary focus of this work. Earlier work also proposed clustering based on degree (connectivity) or lowest identifier heuristics [21]. In [22], a multi-level hierarchical structure is proposed, where cluster heads are selected according to their residual energy and degree. ACE [23] clusters the sensor network in constant number of iterations using the node degree as the main parameter. The approach in [24] selects a d -hop dominating set in $O(d)$ time to cluster the network based on node ID, while the approach in [25] selects a dominating set in constant time using linear programming relaxation techniques. Clustering time complexity in all of the above approaches is dependent on the network diameter.

LEACH [13] is an application-specific data dissemination protocol that uses clustering to prolong the network lifetime. LEACH shows good characteristics of clustering with little overhead. Based on pre-determined probability and cluster head history, some of the nodes elect themselves as CH. Then, these CHs collect data from cluster members in their vicinity and transfer the aggregated data to the BS until the next election round begins. However, LEACH does not guarantee good cluster head distribution and the remaining energy is not reflected in the next head election procedure.

A centralized version of LEACH, LEACH-C, is proposed too in [13]. Unlike LEACH, where nodes self-configure themselves into clusters, LEACH-C utilizes the BS for cluster formation. Although the other operations of LEACH-C are identical to those of LEACH, results presented in [13] indicate an improvement over LEACH. Nevertheless, a centralized version of LEACH is not suitable for a vast range of sensing applications.

PEGASIS [15] is another clustering-based routing protocol, further enhances network lifetime by increasing local collaboration among sensor nodes. In PEGASIS, nodes are organized into a chain using a greedy algorithm so that each node transmits to and receives from only one of its neighbours. In each round, a randomly chosen node from the chain will transmit the aggregated data to the BS, thus reducing the per round energy expenditure compared to LEACH. However, PEGASIS introduces excessive delay for distant node on the chain. In addition the single leader can become a bottleneck.

LEACH and its follow-up work (LEACH-C and PEGASIS) are built on the assumption that the base station is fixed and located far away from the sensors. Moreover, they also assume that every sensor node can reach the base station directly. These assumptions severely limit the applicability of these protocols.

Targeting to the clusters that are formed with respect to existing network topology is the issue that makes our scheme different from any existing sensor network clustering algorithm. If cluster head selection is based on node id, node connectivity, or randomness it does not guarantee that cluster head location is reasonable in terms of spatial attributes. Moreover, less attention is paid for the problem how to cluster network in order to leverage data compression. Therefore, we anticipate that by allowing the nodes to organize themselves into groups of locally regular no overlapping clusters. Grouping of nodes with respect to regions of close proximity and similar deployment density promotes both efficient data aggregation and efficient compression of sensor data. This grouping would also assist transmission power control, since intra-cluster communication requires less transmission power in dense clusters.

III. MODELS

A. Network model

We consider a model which is well suited for wireless sensor networks. It is based on the similar models used in [13]. It consists of a BS, away from the nodes, through which the end user can access data from the sensor network. In this network, the sensing tasks can be either query-based event detection or periodic data reporting. Thereby, we propose a generic framework for various sensing applications. We assume the following properties about the sensor network model:

- The nodes in the network are quasi-stationary. This assumption is typical for wireless sensor networks.
- Nodes use an omni-directional antenna, which has a fixed number of transmission levels, i.e., the node can control radio transmission power.
- The sensing range of a node is smaller than the communication range.
- The BS has a constant power supply and so, has no energy constraints. It can transmit with high power to all the nodes. Thus, there is no need for routing from the BS to any specific node. However, the nodes cannot always reply to the BS directly due to their power constraints, resulting in asymmetric communication.
- Nodes are aware of their 1-hop neighbourhood. It also assumes that nodes are able to measure distances to their one hop neighbours. We consider both assumptions reasonable. The former is a standard assumption for many neighbourhood discovery algorithms, whereas the latter is becoming a common feature of many sensor network applications. Accurate inter node distance measurements in the sensor network domain have been demonstrated using ultrasound in the system described in [26], the MIT Crickets [27] and in the Medusa MK-2 node [28]. In the radio domain, ultra-wide-band ranging systems such as the one offered by Ubisense [29] have already demonstrated accurate distance measurements with small sensor from factors that will be suitable for sensor networks.
- The proper transmission control schemes for medium access are available to minimize the effect of dynamic wireless channel conditions. For the sensor networks, those control schemes need to provide energy-efficient listening and random back-off mechanisms, low overhead contention control and adaptive rate control schemes along with mechanisms to reduce hidden node problem [30].

The two key elements considered in the design of DECHP are the sensor nodes and the BS node. The sensor nodes are geographically grouped into clusters and capable of operating in two basic nodes: i) the cluster head node, ii) the sensing node. In the sensing node, the nodes perform sensing tasks and transmit the sensed data to the cluster head. In cluster head node, a node gathers data from the other nodes within its cluster, performs data fusion, and routes the data to the BS through other cluster head nodes. The CHs can operate at a higher power mode (resulting in higher transmission range) for inter-clusters communication, while they use lower power for intra-cluster communication. The BS in turn supervises the entire network.

B. Radio model

A typical sensor node consists of four major components: a data processor unit; a micro-sensor; a radio communication subsystem that consists of transmitter/ receiver electronics, antennae, and an amplifier; and a power supply unit [31]. Although energy is dissipated in all of the first three components of a sensor node, we mainly consider the energy dissipations

associated with the radio component since the core objective of this article is to develop an energy-efficient network layer protocol to improve network lifetime. In addition, energy dissipated during data aggregation in the cluster head nodes is also taken into account.

In our analysis, we use the same radio model discussed in [13]. The transmit and receive energy costs for the transfer of a k -bit data message between two nodes separated by a distance of r meters is given by equations (1) and (2), respectively.

$$E_T(k, r) = E_{Tx} * k + E_{amp}(r) * k \quad (1)$$

$$E_R(k) = E_{Rx} * k \quad (2)$$

Where $E_T(k, r)$ in (1) denotes the total energy dissipated in the transmitter of the source node, and $E_R(k) = E_{Rx} * k$ in (2) represents the energy cost incurred in the receiver of the destination node. The parameters E_{Tx} , E_{Rx} in equations (1) and (2) are the per bit energy dissipations for transmission and reception, respectively. $E_{amp}(r)$ is the energy required by the transmit amplifier to maintain an acceptable signal-to-noise ratio in order to transfer data messages reliably. As is the case in [13], we use both the free-space propagation model and the two-ray ground propagation model to approximate the path loss sustained due to wireless channel transmission. Given a threshold transmission distance of r_o , the free-space model is employed when $r \leq r_o$, and the two-ray model is applied for cases where $r > r_o$. Using these two models, the energy required by the transmit amplifier $E_{amp}(r)$ is given by

$$E_{amp}(r) = \begin{cases} \varepsilon_{FS} r^2, & r \leq r_o \\ \varepsilon_{TR} r^4, & r > r_o \end{cases} \quad (3)$$

Where ε_{FS} and ε_{TR} denote transmit amplifier parameters corresponding to the free-space and the two-ray models, respectively, and r_o is the threshold distance given by

$$r_o = \sqrt{\varepsilon_{FS} / \varepsilon_{TR}} \quad (4)$$

We assumed the same set of parameters used in [13] for all experiments throughout the article: $E_{Tx} = E_{Rx} = 50nJ/bit$, $\varepsilon_{FS} = 10pJ/bit/m^2$, and $\varepsilon_{TR} = 0.0013pJ/bit/m^4$. Moreover, the energy cost for data aggregation is the set as $E_{DA} = 5nJ/bit/message$.

C. Data correlation model

The data collected by neighbouring sensors have a lot of redundancy, thus, [13] assumes perfect data correlation that all individual signals from members of the same cluster can be combined into a single representative signal. Nevertheless, this assumption cannot hold when the cluster size increases to some extent. Therefore, we develop a complementary exponential data correlation model based on the observation in distributed data compression [33].

Considering the phenomenon of interest as a random process, the correlation between data collected by two sensors is generally a decreasing function of the distance r between them. After the data aggregation removes most of the redundancy, the residue can be assumed to be an increasing function of r based on the above observation; the data aggregation effect is modelled as below.

Suppose a node collects l bits and sends them back to its head at distance r , the head expends $2lE_{DA}$ Joules to perform data aggregation on the $2l$ bits (collected by itself and its

member). The resulting data is assumed of $l(1 + \eta)$ bits, where η is data aggregation residue ratio and assumed to be complementary exponential, namely,

$$\eta = 1 - e^{-\lambda r}, 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (5)$$

λ is a positive number whose value depends on specific phenomenon of interest. For example, the light, sound and temperature often show a strong correlation at short distance, and thus, λ will have smaller values for such data. Since η is a monotonic increasing function of r , η varies from zero to one when r increases from zero to infinity. This model can approach the perfect-data-correlation assumption by decreasing λ , or approach the no-data-aggregation assumption by increasing λ , thus different scenarios can easily be set up by varying λ .

IV. DECHP: DISTRIBUTED ENERGY-EFFICIENT CLUSTERING HIERARCHY PROTOCOL

The proposed algorithm (DECHP) operates in two major phases: setup and data communication. In this section, we describe the details of the two phases. As a prelude, we introduce both the clustering construction constraints and the algorithm aims.

A. Clustering constraints

Usually, the wireless sensor network formed by the nodes and the links can be represented by an undirected graph $G=(V,E)$, where V represents the set of nodes v_i and E represents the set of links e_i . Clustering can be thought as a graph-partitioning problem with some added constraints. As the underlying graph does not show any regular structure, partitioning the graph optimally with respect to certain parameters becomes an NP-hard problem. Our goal is to divide the whole sensor network into no overlapping clusters, where one node is elected as the CH. In this context, the following requirements must be met:

- The clustering procedure is completely distributed. Each node independently makes its decisions based on local information.
- The clustering procedure terminates within a fixed number of iterations (regardless of networks diameter).
- When the clustering procedure is finished, each node is either a cluster head, or a regular node that belongs to exactly one cluster.
- The clustering procedure should be efficient in terms of processing complexity as well as message exchange.
- The CHs are well-distributed over the sensor field.

B. Desired aims of the clustering procedure

In order that clustering procedure will be suitable for the hierarchical routing infrastructure, we propose the following desirable properties that should be present in the clustering mechanism:

- Each cluster is connected. This is an obvious requirement to localize and restrict cluster traffic to within clusters.
- All clusters should have a minimum and maximum size constraint. A maximum size constraint limits the cluster size aiming at allowing the CH to maintain efficiently the intra-cluster communication. Meanwhile, the cluster size can also be chosen to bind the amount of state that needs to be maintained within the cluster. Ideally, the size χ of all the clusters is the same (a pre-defined threshold). Thus, no cluster is overburdened, or under-burdened with processing and storage requirements of cluster maintenance. On one hand, small clusters lead to wasteful resources allocation at the nodes. On the other hand, large clusters leverage the

overheads that results from the increased delay (as in TDMA) involved when the nodes get their shared resource.

- All nodes' transmission range is limited within a certain distance. Besides involving less power consumption when a node have to communicate with another nodes, this enables a CH to communicate with better channel condition (less attenuation, low interference) with its neighbours nodes (short distance).
- Each node must belong to one and unique cluster in order to reduce the power consumption. In fact, when a node is belonging to two clusters, the power consumption is wasted through maintaining cluster state and carry out intra-cluster traffic for both clusters.
- The reconfiguration of the clusters should delay as long as possible aiming at reducing both the system updates and communication costs.

C. Setup phase

The main activities in this phase are: (i) cluster setup and cluster head selection, (ii) routing paths between CHs formation, and (iii) schedule creation for each cluster. At first, DECHP organize the sensor nodes into local clusters based on the above system parameters (cluster size, transmission power and energy level of nodes), with one node acting as the cluster head. Then, the routing paths between CHs are formed. Schedule creation is the last major issue related to the setup phase.

i) Clustering procedure: Based on the preceding discussion, DECHP combines the above system parameters (cluster size, transmission power and energy level of nodes) with certain weighting factors chosen according to the system needs. For instance, if we consider the energy level of nodes as crucial parameter in sensor networks, then the weight of this parameter should be considered with larger value. In addition, based on specific applications, any or all of these parameters can be used in the metric to group the nodes into local clusters. According to our notation, the number of nodes that a CH can handle ideally is χ . Besides ensuring that each CH is not overloaded, this permits to maintain the system efficiency at the expected level.

Within the proposed algorithm, only nodes with sufficient energy are selected as CHs, while those with low energy extend their lifetime by performing tasks that require low energy costs. Further, each cluster members are mostly adjacent to each other and sense similar data, which are aggregated by the CH, limiting thus the amount of data that needs to be sent to the BS. Meanwhile, the clusters formation procedure is only invoked at the time of system activation and the CH reconfiguration procedure is delayed as long as possible.

At this point the cluster formation takes place in 5 steps:

1. Each node i finds its neighbour set NS_i (6), which is the set of nodes that are inside its transmission range.

$$NS_i = \{j \in V / d(i, j) < tx_{range}(i)\} \quad (6)$$

2. Each node i computes its equivalency classes. An Equivalency Class EC_i (7) of node i is the set of nodes that belong to NS_i , meanwhile two nodes (j, k) belong to the same EC_i , if j and k are neighbours for each other.

$$EC_i = \{j \in NS_i / \forall k \in EC_i \Rightarrow j \in NS_k\} \quad (7)$$

3. For every equivalency class EC , of each node, compute the combined weight W_{EC} , defined as follows:

$$W_{EC} = \alpha \left(|EC| - \chi \right) + \left(\frac{2\beta}{|EC|^2 - |EC|} \right) \sum_{j,k \in EC} d(j,k) + \gamma \sum_{j \in EC} \frac{1}{C_e(j)} \quad (8)$$

Where α , β and γ are the weights, $|EC|$ is the size of EC , and $C_e(j)$ is the energy level currently available at node j .

4. Each node chooses, among the set of its equivalency classes, the class minimising W_{EC} as a cluster.
5. If a node belongs to several clusters, then this node is placed into the smallest cluster in size. This allows to equally balancing the nodes number in these clusters.

From (8), it is obvious that the main metric defining the cluster selection is W_{EC} . This metric in fact, is composed by different components reflecting the: (i) number of node enclosed by the cluster; (ii) distance between nodes; (iii) energy level at each node. First component is mainly contributing to limit the number of nodes in each cluster in order to allow the CH to handle up limited number of node in its cluster. Accordingly, we leverage the efficient of MAC functioning, when we know that high node number increases the complexity of TDMA scheduling at the CH. Second component is related to energy consumption, where it is well known that more power is required to communicate to a large distance. Last component measures the energy level currently available at nodes, which in turn depend on the node's initial energy as well as the energy expended according to the current network traffic and length of the links used to support it.

Once the cluster formation is achieved, the sensor nodes are grouped into clusters. Each node belongs to only one cluster. Each cluster is represented by a CH, which is elected from the nodes set. Thereby, simple nodes communicate with other nodes only through the CH of its cluster. On the other hand, the CH is the node that has a maximum energy level. As CHs perform functions that consume more energy, it is important to re-elect evenly another CH aiming at distribute among the nodes the energy consumption. Indeed, each CH computes periodically the energy level average of all nodes within its cluster. After that, if its current energy level is below the average value, then the node that has the maximum of remaining energy level is indicated as a new CH of the cluster.

ii) Routing paths between CHs formation: The second major activity within the setup phase is the formation of routing paths between CHs. DECHP uses a geographical and energy aware neighbour cluster heads selection to transfer fused data to the BS. Since only the CHs need to know how to route the data towards its higher level CH or the BS, it reduces its routing complexity. Once the clusters and the cluster head nodes have been identified, each CH picks a next-hop node among all neighbour cluster heads that are closer to the BS. The CH routes the sensed data progressively towards the BS and at the same time tries to balance the energy consumption across its entire neighbour cluster heads. Cluster head CH_i achieves this trade-off by minimizing the learned cost $l(CH_i, BS)$ value of its neighbour cluster head CH_j .

Each cluster head CH_i maintains state $l(CH_i, BS)$ which we call its learned cost to BS. A cluster head infrequently updates its $l(CH_i, BS)$ value to its neighbour CHs. We implicitly define $l(CH_i, BS)$ in the next two paragraphs.

If a cluster head CH_i does not have $l(CH_i, BS)$ state for a neighbour CH_j , it computes the estimated cost $c(CH_j, BS)$ as a default value for $l(CH_i, BS)$. The estimated cost $c(CH_j, BS)$ of CH_j is defined as follows:

$$c(CH_j, BS) = \mu \times d(CH_j, BS) + (1 - \mu) \times \frac{1}{C_e(CH_j)} \quad (9)$$

Where μ is a tuneable weight, $d(CH_j, BS)$ is the distance from CH_j to the BS, and $C_e(CH_j)$ is the energy level currently available at node CH_j .

After a cluster head CH_i picks a next-hop neighbour CH_{min} , it sets its own $l(CH_i, BS)$ to $l(CH_{min}, BS) + c(CH_i, CH_{min})$ where the latter term is the cost of transmitting a packet from CH_i to CH_{min} . The cost $c(CH_i, CH_{min})$ can also be a combination function of both the remaining energy levels of CH_i, CH_{min} and the distance between these two neighbours.

Now that a cluster head CH_i has a learned cost state $l(CH_i, BS)$ or a default estimated cost function $c(CH_i, BS)$ for each neighbour cluster head CH_j . Whenever a cluster head CH_i receives a packets, it will pick the next hop among the neighbour cluster heads that are closer to the BS, at the same time, minimizing the learned cost value $l(CH_i, BS)$. Since it picks a next-hop node from closer neighbour CHs, it will route progressively towards the BS. The learned cost is a combination of consumed energy and distance, minimizing the learned cost value is a trade-off between routing towards the next-hop closest to the BS and balancing energy usage. Thus, by using the learned cost, DECHP distributes the burden of routing evenly among all cluster heads.

iii) Scheduling creation: Schedule creation is the last issue related to the setup phase. The proposed algorithm utilizes TDMA scheduling scheme to minimize collision between sensor nodes trying to transmit data to its cluster head. The CHs act as local control centers to coordinate the data transmissions in their cluster. The cluster head node sets up a TDMA schedule and transmits this schedule to the nodes in the cluster. This ensures that there are no collisions among data messages and also allows the radio components of each non-cluster head node to be turned off at all times except during their transmit time, thus reducing the energy consumed by the individual sensors. Now, all nodes in the cluster know the TDMA schedule, therefore the setup phase is complete and the data communication phase can begin.

D. Data communication phase

The data communication phase consists of three major activities: (i) data gathering, (ii) data fusion and (iii) data routing. Using the TDMA schedule creation scheme described above, each sensor node transmits the sensed information to its cluster head. Since sensor nodes are geographically grouped into clusters, these transmissions consume minimal energy due to small spatial separations between the cluster head and the sensing nodes. Once data from all sensor nodes have been received, the CH performs data fusion on the collected data following the correlation model described above. Thus reduces the amount of raw data that needs to be sent to the BS. The compressed data, along with the information required by the BS to properly identify and decode the cluster data, are then routed back to the BS via the routing paths created between CHs. Besides, we also assume that the fused data from a given CH undergoes further processing as it hops along the routing path to BS.

Another key issue that needs to be addressed here is the radio interference caused by neighbouring clusters that could hinder the operation of any given cluster. DECHP utilizes Code-Division Multiple Access (CDMA) codes to counteract this problem. Each cluster is assigned a spreading code that the nodes in the cluster use to distinguish their data transmissions from those of nodes in neighbouring clusters.

V. SIMULATION RESULTS

In order to evaluate the advantages of DECHP, we have constructed a set of simulation using ns-2 (Network Simulator) [32]. We compare our algorithm with other clustering-based routing protocols, such as LEACH, LEACH-C, and PEGASIS. Performance is measured by quantitative metrics of average energy dissipation, total amount of data received at the BS, and number of survival nodes. The communication energy consumption model is adopted from [13] with the same parameters. Moreover, we assume the perfect-data-correlation model like [13] and [15] by setting λ in equation (5) to 0. According to the importance of keeping the cluster size as close as possible to the threshold χ , the weight α in equation (8) was chosen with high value. On the other hand, distances' sum and battery power were given low weights. The values used for simulation were $\alpha=0.5$, $\beta=0.25$ and $\gamma=0.25$. Furthermore, we set μ in equation (9) to 0.5 and the cluster size threshold χ to 25. Note that these values are arbitrary at this time and should be adjusted according to the system requirements.

Throughout the simulations, we consider several random network configurations with 500 nodes where each node is assigned an initial energy of 2J. The data message size for all simulations is fixed at 500 bytes, of which 25 bytes represent the length of the packet header.

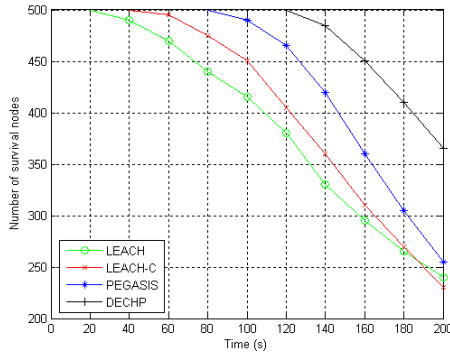


Fig. 1. System lifetime.

In the first experiment, we simulate several different $100m \times 100m$ network topologies with the BS located at least $75m$ away from the nearest node. Figure 1 shows the number of survival nodes over the time. This plot clearly shows that DECHP outperforms the system lifetime of LEACH, LEACH-C, and PEGASIS. This is because all the cluster heads in both LEACH and LEACH-C transmit data directly to the distant BS, which in turn causes significant energy losses in the cluster head nodes. Both DECHP and PEGASIS alleviate this problem by having one node forward the data to the BS. However, the geographical and energy-aware routing scheme used by CHs to transmit fused data to BS lets DECHP still exceeds the system lifetime of PEGASIS since the utilization of the greedy algorithm in PEGASIS results in a gradual increase in neighbour distances. This in turn increases the communication energy cost for those PEGASIS nodes that have far neighbours. As shown shortly, increasing neighbour distances will have a significant effect on PEGASIS' performance when the area of the sensor field is increased.

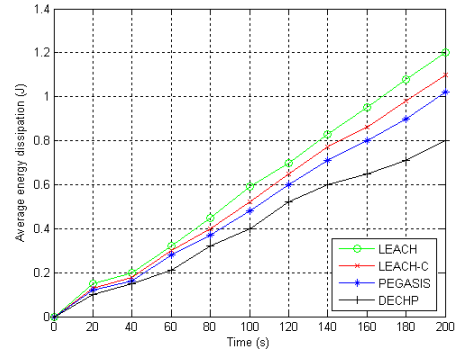


Fig. 2. Average energy dissipation.

The improvement gained through DECHP is further exemplified in figure 2. This plot presents the average energy dissipation of the protocols under study over the time for the $100m \times 100m$ network scenario. It is clearly seen that DECHP has a much more desirable energy expenditure curve than those of LEACH, LEACH-C and PEGASIS. Furthermore, this improvement is expected to be more significant for networks with larger dimensions due to the reasons cited above.

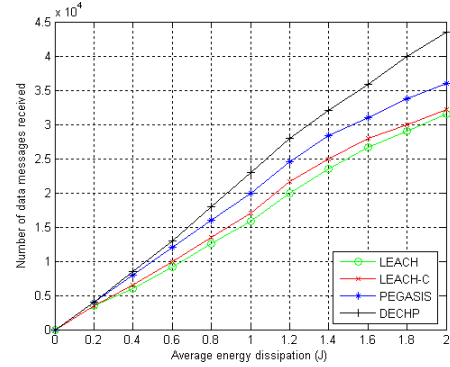


Fig. 3. Total amount of data received at the BS as a function of average energy dissipation.

Next we analyze the number of data messages received by the BS for the four routing protocols under consideration. For this experiment, we again simulated several different $100m \times 100m$ network topologies where each node begins with an initial energy of 2J. Figure 3 shows the total number of data messages received by the BS as a function of average energy dissipation. The plot clearly illustrates the effectiveness of DECHP in delivering significantly more data messages than its counterparts.

In the final experiment, we evaluate the performance of the routing protocols as the area of the sensor field is increased. For this simulation, 500 nodes are randomly placed in a square field of varying network areas with the base station located at least $100m$ away from the closest sensor node, and results were obtained over several different network topologies for each network area instance.

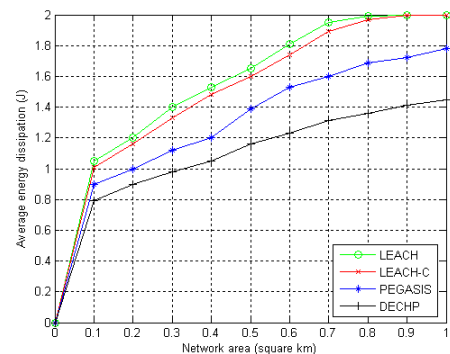


Fig. 4. Average energy dissipation over varying network areas.

Figure 4 shows the average energy dissipation of the four protocols as a function of network area. Clearly, DECHP outperforms both LEACH and LEACH-C as network area increases. This is mainly because the two version of LEACH do not ensure that the cluster heads are uniformly placed across the whole sensor field. As a result, the cluster heads in LEACH and LEACH-C can become concentrated in a certain region of the network, in which case nodes from the “cluster head deprived” regions will dissipate a considerable amount of energy while transmitting their data to a faraway cluster head. DECHP alleviates this problem by evenly allocating cluster heads across the sensor field. Another factor that helps DECHP attain better performance over LEACH and LEACH-C is the utilisation of the balanced clustering approach. Using balanced clustering, DECHP distributes the load evenly among the cluster heads, whereas in the cases of LEACH and LEACH-C some cluster heads can be overloaded while others only serve a handful of nodes. Also notable in figure 4 is a significant energy saving through utilising DECHP over PEGASIS.

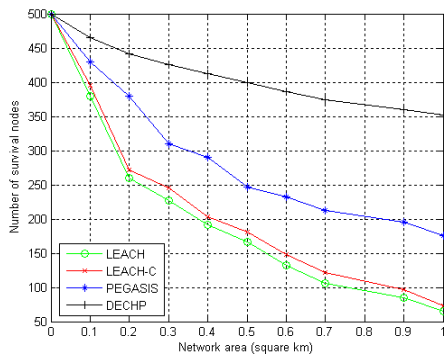


Fig. 5. Number of survival nodes as a function of network area.

Finally, the plot in figure 5 further illustrates the effectiveness of DECHP for wireless sensor applications that cover a large network area. As shown in figure 5, about 70 percent of the DECHP nodes still remain alive for a network with area 1 km², while the other three protocols encounter significant sensor node deaths. From these analyses, it is clear that DECHP offers significant performance gain for networks with large coverage areas. However, it is noted that the performance gain of DECHP over the other clustering-based protocols decreases as the sensor field area becomes small.

VI. CONCLUSION

In this paper we have proposed a novel clustering-based routing protocol, DECHP, which utilizes clustering to organize sensor nodes into an energy-efficient hierarchy. Performance of the proposed DECHP protocol is assessed by simulation and compared to other clustering-based protocols (LEACH, LEACH-C, and PEGASIS). The simulation results show that DECHP outperforms its comparatives by uniformly placing CHs throughout the whole sensor field, performing balanced clustering, and using a geographical and energy aware routing paths between CHs to transfer fused data to the BS. It is also observed that the performance gain of DECHP over its counterparts increases with the area of the sensor field. Therefore, it is concluded that DECHP provides an energy-efficient routing scheme suitable for a vast range of sensing applications.

REFERENCES

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “Wireless Sensor Networks: A survey,” *Computer Network*, vol.38, no.4, (pp.393-422), 2002.
- [2] S. Basagni, I. Chlamtac and A. Fargo, “A Generalized Clustering Algorithm for peer-to-peer Networks,” *Proceedings of Workshop on Algorithmic Aspects of communication (satellite workshop of ICALP)*, July 1997.
- [3] J. N. Al-Karaki, A. E. Kamal, “Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: a survey,” *IEEE Wireless Communications*, December 2004.
- [4] W. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan, “Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks,” *Proceedings of the Fifth ACM/IEEE MobiCom Conference*, Seattle, WA, August 1999.
- [5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, “Directed Diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks,” *Proceedings of the sixth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks, MobiCom’2000*, Boston, MA, August 2000.
- [6] R. Shah, J. Rabaey, “Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks,” *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC*, Orlando FL, March 2002.
- [7] D. Braginsky, D. Estrin, “Rumor routing algorithm for sensor networks,” *Proceedings of the First Workshop on Sensor networks and Applications, WSNA*, Atlanta, GA, October 2002.
- [8] V. Rodoplu, T.H. Ming, “Minimum energy mobile wireless networks,” *IEEE JSAC*, vol. 17 no. 8, pp. 1333-1344, August 1999.
- [9] L. Li, J.Y. Halpern, “Minimum energy mobile wireless networks revisited,” *Proceedings of IEEE International Conference on Communications, ICC’01*, Helsinki, Finland, June 2001.
- [10] Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin, “Geography-informed energy conservation for ad hoc routing,” *Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom’01*, Rome, Italy, July 2001.
- [11] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, “Geographical and Energy-aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks,” *UCLA Comp. Sci. Dept. tech. rep.*, UCLA-CSD TR-010023, May 2001.
- [12] J. Li, J. Jannotti, D. De Couto, D. Karger, and R. Morris, “A scalable location service for geographic ad hoc routing,” *Proceedings of the IEEE/ACM MobiCom 2000*, pp. 120-130.
- [13] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “An application specific protocol architecture for wireless micro sensor networks,” *IEEE Transactions on wireless Communications*, vol. 1, no. 4, (pp. 660-670), October 2002.
- [14] A. Manjeshwar, D.P. Agrawal, “TEEN: a protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks,” *Proceedings of the First International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*, San Francisco, CA, April 2001.
- [15] S. Lindsey, C. Raghavendra, and K. M. Sivalingam, “Data Gathering Algorithms in Sensor Networks using Energy Metrics,” *IEEE Trans. Parallel and Distributed. System*, vol. 13, no. 9, Sept. 2002, pp. 924 – 935.
- [16] L. Subramanian, and R.H. Katz, “An architecture for building self configurable systems,” *Proceedings of IEEE/ACM Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, Boston, MA, August 2000
- [17] J. Han and K. Micheline, “Data Mining Concepts and Techniques,” Morgan Kauffman, 2001.
- [18] S. Basagni, “Distributed Clustering for Ad Hoc Networks,” *International Symposium of Parallel Architectures, Algorithms and Networks (I-SPAN’99)*, Fremantle, Australia, June, 1999.
- [19] M. Chatterjee, S. Das, and D. Turgut, “WCA: A weighted clustering algorithm for mobile ad hoc networks,” *Journal of Cluster Computing (Special Issue on Mobile Ad hoc Networks)*, 5, 193-204, April 2002.
- [20] S. Banerjee and S. Khuller, “A Clustering Scheme for Hierarchical Control in Multi-hop Wireless Networks,” *Proceedings of IEEE INFOCOM*, April 2001.
- [21] C. R. Lin and M. Gerla, “Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks,” *IEEE JSAC*, September 1997.
- [22] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidmann, and S. Kumar, “Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks,” *Proceedings of the ACM/IEEE MobiCom*, August 1999.

- [23] H. Chan and A. Perrig, "ACE: An Emergent Algorithm for Highly Uniform Cluster Formation," Proceedings of the First European Workshop on Sensor Networks (EWSN), January 2004.
- [24] A. D. Amis, R. Prakash, T. H. P. Vuong, D. T. Huynh, "Max-Min D-Cluster Formation in wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE INFOCOM, March 2000.
- [25] F. Kuhn and R. Wattenhofer, "Constant-Time Distributed Dominating Set Approximation," Proceedings of ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC), July 2003.
- [26] A. Harter and A. Hopper, "A New Location Technique for the Active Office," IEEE Personal Communication, vol. 4, No. 5, (pp. 42-47), October 1997.
- [27] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, "The Cricket Location Support System," Proceedings of 6th ACM Mobicom, Boston, MA, August 2000.
- [28] A. Savvides, H. Park and M. B. Srivastava, "the n-hop Multilateration Primitive for Node Localization Problems," Proceedings of Mobile Networks and Applications, 8, (pp. 443-451), 2003.
- [29] Ubisense website, <http://www.ubisense.net>
- [30] A. Woo and D. Culler, "A transmission control scheme for media access in sensor networks," Proceedings of ACM/IEEE International Conference on MOBICOM, (pp. 221-235), 2001.
- [31] V. Raghunathan et al., "Energy-Aware Wireless Microsensor Networks," *IEEE Sig. Proc. Mag.*, vol. 1, no. 2, Mar. 2002.
- [32] Network Simulator 2, ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam>.
- [33] S. Pradhan, J. Kusuma, and K. Ramchandran, "Distributed Compression in a Dense Microsensor Network," *IEEE Sig. Proc. Mag.*, vol. 19, no. 2, pp. 51-60, Mar. 2002.

Amélioration des performances des systèmes multi-antennes par l'utilisation de pré-codage et post-codage

Btissam BOUSTANI, Abdennaceur BAGHDAD, Aicha SAHEL, Abdelhakim BALLOUK, Abdelmajid BADRI.
Laboratoire Electronique Energie Automatique et Traitement de l'Information, Département Génie Electrique, Faculté des Sciences et Techniques Mohammedia, Université Hassan II Casablanca, B.P. 146 Mohammedia 20650 Maroc
Btissam.boustani@gmail.com [nasser baghdad@yahoo.fr](mailto:nasser_baghdad@yahoo.fr) [sahel ai@yahoo.fr](mailto:sahel_ai@yahoo.fr) balloukhakim@gmail.com
abdelmajid_badri@yahoo.fr

Abstract— L'apparition de nouvelles applications sans fil entraînent la multiplication des standards de communication. Les ressources fréquentielles disponibles étant limitées et les puissances d'émission étant réglementées pour des questions de sécurité vis-à-vis des personnes, des solutions innovantes doivent être mises en place pour augmenter les performances des transmissions en terme de débit et d'efficacité... [1].

Pour atteindre ces objectifs et afin d'apporter des améliorations importantes en terme de capacité, on propose l'utilisation des systèmes multi-antennes appelées aussi MIMO (Multiple Input Multiple Output), sur lequel on applique un pré-codage du côté de l'émission et un post-codage du côté de la réception en considérant une connaissance ou non de l'état du canal.

Les systèmes MIMO porte un grand intérêt dans de nombreuses applications radio, en particulier la radiocommunication mobile. La modélisation de ces systèmes repose sur la connaissance de la matrice H du canal dont les propriétés déterminent la mise en place d'un algorithme de recherche sur lequel portera notre étude, qui est faite dans système qui considère la non connaissance de l'état du canal.

Keywords— Systèmes MIMO, pré-codage, post-codage, capacité du canal...

I. INTRODUCTION

Les systèmes MIMO sont considérés comme une technologie clé indispensable aux réseaux de communication sans fil, ils ont prouvés leurs efficacités par rapport aux systèmes SISO (Single Input Single Output) en termes de capacité et permettent d'acheminer des taux de données plus élevés [2].

Les meilleurs résultats se manifestent lorsqu'on a une parfaite connaissance du canal des deux côtés émetteur et récepteur (CSI). Les informations liées au canal ne sont pas facilement connues, d'où vient l'idée de l'estimation du canal.

Dans cette étude nous allons travailler avec un système MIMO sans connaissance de l'état du canal (no CSI) est on va évaluer son comportement aux différents pré et post-codages associés.

Plusieurs techniques ont été utilisées, parmi lesquelles on peut citer : la décomposition en valeur singulière (SVD) qui s'applique au canal de transmission MIMO permettant de diagonaliser la matrice H du canal, ainsi que des paramètres d'évaluation de celui-ci, telle que l'erreur quadratique minimale qui minimise l'erreur globale (MMSE) due à la contribution du bruit et à l'interférence mutuelle des signaux et la technique de forçage à zéro (ZF) qui est basée sur l'inversion de la matrice H du canal.

II. SYSTEME MIMO

A. Modélisation du système MIMO

Le système MIMO ou multi-antennes comme son nom le dit est un système à plusieurs antennes à l'émission et à la réception. Ces systèmes peuvent se présenter comme suit :

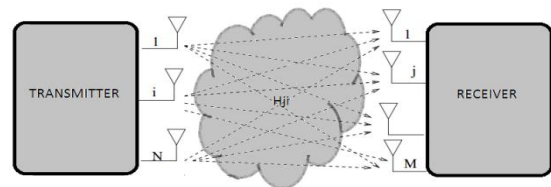


Fig.1 : représentation d'un système MIMO

La connaissance du système MIMO nécessite la connaissance d'une caractéristique majeure qui est la matrice H du canal. Considérons un système MIMO avec N_t antenne à l'émission et N_r antennes à la réception, l'échange de signaux (l'information) entre l'émetteur et le récepteur est établi par la présence de cette matrice H du canal.

La relation entre les éléments du système est effectuée de la manière suivante :

$$y = Hx + n \quad (1)$$

y et x représentent respectivement les vecteurs reçus et les vecteurs émis par les antennes émettrices et réceptrices, n est le bruit gaussien additif et H est la matrice de canal de type $N_t \times N_r$ antennes, son gain complexe caractérise la transmission entre les différents couples d'antennes. La matrice H peut s'écrire de la façon suivante :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} & \dots & \dots & h_{M1} \\ h_{12} & h_{22} & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots \\ h_{1M} & h_{2M} & \dots & \dots & h_{MM} \end{bmatrix}$$

Où les h_{ji} sont les coefficients du canal gaussien complexe permettant de moduler le gain dans un système à évanouissement entre la i^{ème} antenne émettrice et la j^{ème} antenne réceptrice.

L'estimation de la matrice de canal est importante, sa connaissance permet d'optimiser de manière significative la reconstitution du signal [3].

B. Capacité d'un système MIMO

Par définition la capacité d'un système MIMO est la quantité maximale d'information pouvant transiter à travers le canal par unité de temps.

Dans le cas général elle est exprimée comme suite:

$$C = \log_2 \det(I_{N_r} + \frac{\rho}{N_t} HH^H) \quad (2)$$

Il y a deux façons pour exprimer la capacité d'un système MIMO, en les appelle capacité de coupure et la capacité ergodique, dans notre étude, nous allons se focaliser sur la capacité ergodique qui est présentée comme suite :

$$C = E \left\{ \log_2 \det(I_{N_r} + \frac{\rho}{N_t} HH^H) \right\} \quad (3)$$

Où I_{N_r} est la matrice identité dépendant du nombre d'antennes à la réception, H est la matrice du canal, $\frac{\rho}{N_t}$ représente le rapport signal sur bruit noté aussi SNR.

C. Décomposition du canal

Plusieurs techniques de décomposition sont employées pour traiter la matrice H du canal, certaines peuvent donner de meilleurs résultats vis-à-vis des autres. Parmi ces techniques on peut citer :

- la décomposition en valeur singulière (SVD)
- la décomposition moyenne géométrique (GMD)
- la décomposition LU

- la décomposition orthogonale et triangulaire (QR)
- la décomposition de SCHUR
- et d'autre ...

Une étude comparative entre les différentes décompositions est établie afin de choisir la mieux adaptée à notre système MIMO.

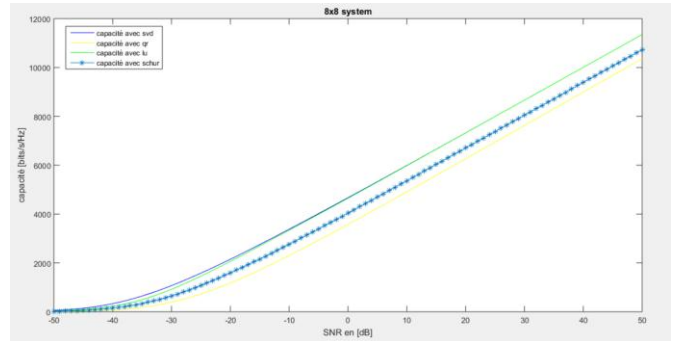


Fig.2 : différentes types de décompositions pour un système MIMO

La Fig.2 montre que parmi les différentes méthodes considérées, deux types de décomposition ont donné de bons résultats en termes de capacité, à savoir la décomposition en valeur singulière (SVD) et la décomposition (LU).

Pour cette étude, nous allons travailler avec la décomposition en valeur singulière (SVD) qui a pour rôle la diagonalisation du canal MIMO. Cette technique est utilisée en considérant un canal virtuel MIMO subdivisé en plusieurs sous canaux SISO parallèles. La décomposition est écrite comme suit :

$$H = UDV^H \quad (4)$$

Où U et V sont des matrices unitaires et D est la matrice diagonale. Le nombre de valeurs propres r qui représente le rang de la matrice H du canal est égal au $\min(N_t, N_r)$.

En remplaçant la matrice H de (1) par UDV on obtient :

$$y = UDV^H x + n \quad (5)$$

En appliquant un prétraitement aux symboles (x) transmis du côté de l'émetteur et un post-traitement (y) du côté du récepteur, on obtient une forme explicite :

$$\tilde{y} = \Sigma \tilde{x} + \tilde{n} \quad (6)$$

Avec :

$$\Sigma = U^H(UDV^H)V, \tilde{n} = U^H n, \tilde{x} = Vx, \tilde{y} = U^H y$$

La représentation d'un signal décomposé par la méthode SVD est illustrée dans la Fig.3 qui représente le schéma fonctionnel du principe.

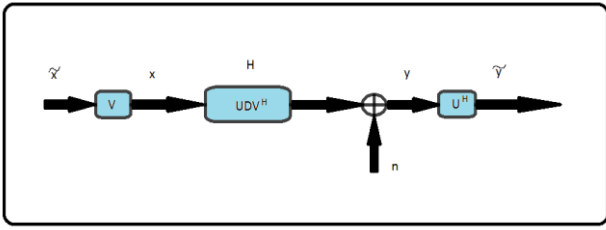


Fig. 3: Présentation de la méthode SVD

III. TECHNIQUE DE PRECODAGE ET POSTCODAGE

Afin d'évaluer l'impact de nos algorithmes de recherche conçus et leur effet sur la capacité du canal du système MIMO, nous avons estimé l'importance de les comparer avec des techniques prédéfinies, donnant de bons résultats, tels que le water filling (WF) et le forçage à zéro (ZF).

A. Techniques existantes

Dans cette partie, nous allons évoquer le rôle de ces deux techniques, qui se basent sur le principe de pré-codage et post-codage, qui sont :

- précodeur water filling (WF) ;
- décodeur forçage à zéro(ZF).

Le **Water filling** est un précodeur qui maximise la capacité d'un système MIMO, cette technique nécessite utilise la décomposition SVD qui permet la diagonalisation du canal en n voies indépendantes. Cette technique n'est appliquée que si on dispose des informations sur l'état du canal (CSI) en termes de puissance. Le Water filling permet l'allocation des puissances de manière optimale aux différentes antennes. La prise en compte de la puissance se présente comme suit :

$$C = \max_{(Q)=P_t} \log \det [I_M + HQH^H] \quad (7)$$

Avec $Q = P_t$, P_t est la puissance totale, H est la matrice du canal et I_M est la matrice identité.

Le **Forçage à zéro** est considéré comme une technique de réception, cette technique est basée sur l'inversion de la matrice H du canal, elle nécessite la validation de deux critères sur H . H doit être une matrice carrée et inversible. Elle est représentée par la formulation suivante :

$$S = (H^H H)^{-1} H^H \quad (8)$$

Il faut savoir que si la matrice H est une matrice complexe, dans ce cas on passe de la notion de transposée à la notion d'hermitienne.

B. Algorithme de recherche

L'algorithme de recherche est un type d'algorithme qui est basé sur un ensemble de critère appliqué pour résoudre une problématique, et l'obtention des résultats convenables.

Notre algorithme de recherche crée se base sur trois scénarios, chacun est un algorithme spécifique. Ils consistent

tous à trouver des solutions permettant l'amélioration de la capacité d'un système MIMO, par l'application d'un pré et post codage adéquat. Les trois algorithmes sont conçus en considérant les mêmes hypothèses de base, qui sont :

- Un système MIMO 8X8
- Canal gaussien complexe
- L'utilisation de la décomposition SVD
- les matrices de pré-codages F et post-codages G sont strictement positives.

La Fig.4 montre la conception d'un canal MIMO pour un pré-codage et post-codage.

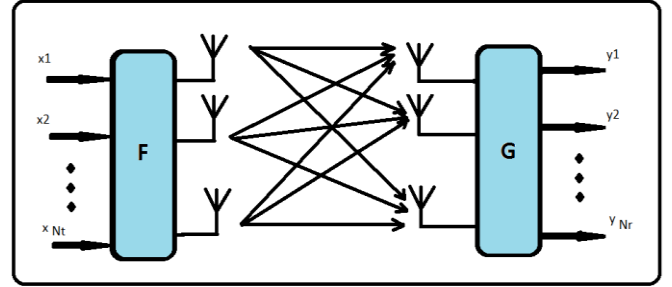


Fig.4 : modèle MIMO avec pré et post-codage

Ici les éléments liant les composants du canal entre eux s'écrit de la même façon que (1) :

$$y = Hx + n \quad (9)$$

En introduisant les deux matrices pré et post-codage F et G , on obtient :

$$y = GHFx + Gn \quad (10)$$

Ici on va se concentrer sur la matrice du canal équivalente, donnée par :

$$Heq = GHF \quad (11)$$

Algorithme (1) : « Amélioration par addition », permet de générer les matrices F et G par le principe de sommation des matrices.

Algorithme (2) : « Amélioration par la matrice diagonale S », permet de générer les matrices F et G par le principe de combinaison avec la matrice diagonale S .

Algorithme (3) : « Amélioration par inversion », permet de générer les matrices F et G par le principe d'inversion.

IV. RÉSULTAT DE LA SIMULATION

Dans cette partie nous allons évaluer les performances des études effectuées. Trois types de résultats seront présentés :

Le premier consiste à une étude comparative entre les techniques de post et pré-codages WF et ZF déjà prédéfinies vis-à-vis d'un système sans codage ;

Le deuxième élabore les trois algorithmes de recherche conçus par nos soins ;

Le troisième permet de comparer une technique existante et un algorithme de recherche qui a donné de bons résultats.

A. Comparaison par des techniques existantes

Dans cette partie nous allons comparer un précodeur dédié pour les systèmes en parfaite connaissance du canal (Water Filling) et un récepteur d'évaluation (Forçage à Zéro) qui sont connus par leurs bons résultats avec un système sans codage. Fig.5.

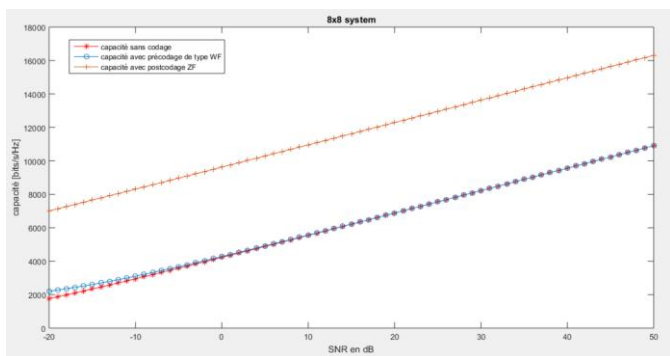


Fig.5 : Comparaison d'un système MIMO avec pré et post-codage et sans codage

La capacité du système MIMO sans codage peut se nommer aussi comme la capacité sans connaissance de l'état du canal. A une faible valeur du rapport signal sur bruit, elle présente une faible capacité, presque nulle, cependant, sa valeur augmente progressivement avec le SNR.

La capacité du système MIMO avec le Water filling connue sous une parfaite connaissance du canal débute avec une capacité de 2211[bits/s/Hz], dont la valeur augmente progressivement avec le SNR.

La valeur de la capacité de WF et du système sans codage sont exactement les mêmes à partir de 20dB.

La capacité du système MIMO avec un récepteur ZF donne de bons résultats vis-à-vis des autres techniques, à faible SNR. On a une capacité qui débute avec une valeur de 7010[bits/s/Hz], mais qui augmente rapidement avec le SNR.

Alors le meilleur résultat de cette comparaison est bien clair, il est en faveur de la technique du récepteur forçage à zéro qui a prouvé sa suprématie.

B. Évaluation des différents algorithmes de recherche

Dans cette partie nous allons évaluer les trois algorithmes que nous avons réalisés avec un système sans codage, les résultats trouvés sont les suivantes Fig.6.

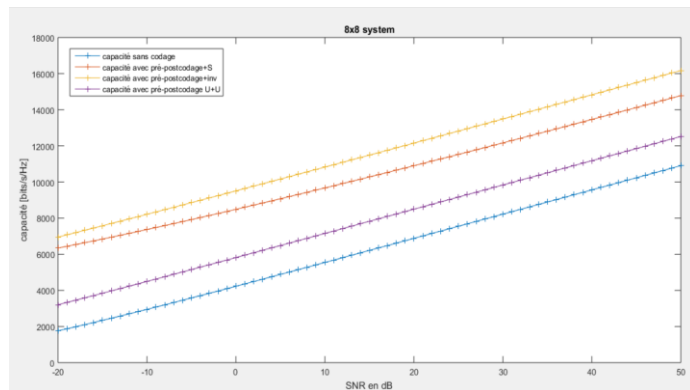


Fig.6 : évaluation des algorithmes de recherche pour un système MIMO

La capacité du système MIMO sans codage montre de faibles valeurs vis-à-vis de différentes capacités qui emploient les algorithmes de recherches.

Pour les systèmes avec algorithmes de recherches :

- le premier algorithme nommé « Amélioration par addition » permet d'améliorer la capacité par rapport à un système sans codage, mais il reste faible vis-à-vis des autres algorithmes appliqués.
- le second algorithme nommé « Amélioration par la matrice diagonale S » donne de bons résultats à faible et à forte valeur de SNR, la capacité augmente toujours avec le SNR.
- le troisième algorithme nommé « Amélioration par inversion » engendre les meilleurs résultats pour de faibles ou de fortes valeurs de SNR.

Le tableau ci-dessous exprime les améliorations en % des différents algorithmes par rapport au système sans codage :

	Système MIMO Sans codage	Système MIMO sous différents algorithmes		
		Algorithme(1)	Algorithme(2)	Algorithme(3)
Capacité [bits/s/Hz]	10922	12538	15089	16256
Amélioration en %	-	14%	38%	48%

En tenant compte des résultats affichés, pour un SNR de 50 dB, l'amélioration de la capacité par ces différents algorithmes est bien claire, par exemple l'algorithme (3) peut donner une amélioration arrivant jusqu'à 48%. On peut même dire que le passage d'un algorithme à un autre se traduit par une amélioration qui peut aller de 10 à 24%.

C. Comparaison d'une technique existante avec un algorithme de recherche

Dans cette partie nous allons comparer une technique prédéfinie (ZF) avec le troisième l'algorithme de recherche nommé « amélioration par inversion » qui a donné de très bons résultats. Fig.7.

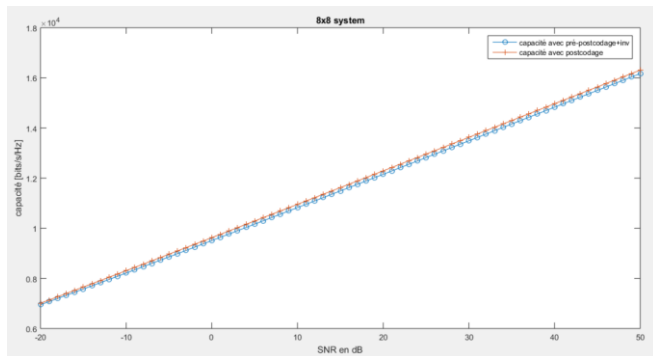


Fig.7 : Comparaison entre le ZF et le troisième algorithme de recherche

On peut donc remarquer qu'il n'y a pas une grande différence de point de vue performance sur la capacité du canal du système MIMO et ceci entre les deux techniques utilisés à savoir la technique prédéfinie FZ et notre algorithme, cela prouve que notre troisième algorithme de recherche est efficace pour une application élargie sur les systèmes MIMO.

V. CONCLUSION

L'étude établie sur l'algorithme de recherche est notamment l'algorithme par inversion a montré son intérêt dans l'amélioration de la capacité des systèmes MIMO. Les résultats de capacité de transmission obtenue sont comparables à ceux fournis par l'algorithme ZF.

Certes les techniques prédéfinies utilisant le pré et post-codage ont prouvé leur bon fonctionnement par rapport à un système sans codage, cependant les algorithmes de recherche proposés dans ce travail sont également meilleurs par rapport à un système sans codage et ils ont montré aussi leur intérêt dans l'amélioration de la capacité de transmission.

Références

- [1] B.Poussot, JM. Laheurte, Antennes reconfigurables pour la radio cognitive et les systèmes MIMO Université Paris-Est, ESYCOM (EA 2552), UPEMLV, ESIEE-Paris, CNAM F-77454 Marne-la-Vallée, France.
- [2] C.Chen, Y.Tsai, C.Yang, An Iterative Geometric Mean Decomposition Algorithm for MIMO Communications Systems DOI 10.1109/TWC.2014.2347051, IEEE Transactions on Wireless Communications.
- [3] J.A.Abot, "Stratégie de codage conjoint pour la transmission d'images dans un système MIMO", Thèse Traitement du signal et des images. Poitiers: Université de Poitiers, 2012.

Conception d'une antenne patch avec une structure DGS pour des applications dans la bande EHF

A.ZAIDI, A.BAGHDAD, A.BALLOUK, A.BADRI

Laboratoire d'Electronique, Energie, Automatique
& Traitement de l'Information

Université Hassan II, Faculté des sciences et techniques Mohammedia-Casablanca (B.P. 146 Mohammedia 20650 Maroc)
Emails: abir.zaidi.z@gmail.com nasser_baghdad@yahoo.fr balloukhakim@gmail.com abdelmajid_badri@yahoo.fr

Résumé : Dans ce travail, on a proposé une antenne patch améliorée par une structure DGS (Defected Ground structure), alimentée par une ligne microbande avec encoche et destinée à fonctionner dans la bande de fréquences (EHF) et plus précisément à la fréquence de 30GHz. La conception de cette antenne est faite par le logiciel de conception et de simulation basée sur la méthode des éléments finis, HFSSv15 « High Frequency Structure Simulator ». L'antenne proposée présente l'avantage d'avoir un facteur de forme réduit qui la rend propice pour l'intégration dans les circuits miniaturisés, l'antenne est également caractérisée par une large bande passante et un fort gain.

Le concept du DGS est examiné et vérifié expérimentalement pour une géométrie de forme I.

Mots clés —antenne patch avec encoche, antenne patch rectangulaire, Defected Ground Structure (DGS), antenne microbande, HFSS, onde millimétrique, bande EHF, antenne large bande, antenne a fort gain, antenne imprimée, antenne microruban.

I. INTRODUCTION

L'encombrement spectral causé par l'évolution exponentielle des technologies de communication sans fils, dans les bandes VHF (Very High Frequency), UHF (Ultra High Frequency) et SHF (Super High Frequency), a conduit au besoin d'exploiter la bande EHF (Extremely High Frequency), malgré le fait que les ondes millimétrique dans cette bande sont exposées au problème de l'atténuation atmosphérique, et au risque d'évanouissement (rain fade) qui réduit la puissance et le gain du signal.

Afin de répondre à ces nombreuses contraintes, le choix est porté sur une antenne patch, constituée d'un substrat en diélectrique complètement métallisé sur l'une de ses faces et recouvert d'une bande métallique sur l'autre face [1].

Ce type d'antennes fait l'objet d'un certain nombre de travaux de recherches durant les dernières décennies afin d'améliorer ses caractéristiques, pour le rendre convenable pour plusieurs applications.

Dans ce travail, on va premièrement étudier l'effet de la position de la ligne d'alimentation sur le coefficient de pertes par réflexion, la bande passante, l'impédance et le gain de l'antenne, par la suite on va insérer une géométrie DGS et comparer les performances de l'antenne avec et sans la structure.

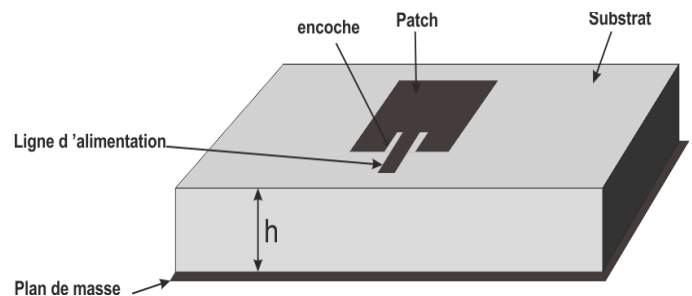


Fig. 1: Antenne patch rectangulaire avec encoche

II. CONCEPTION DE L'ANTENNE:

Le design proposé est basé sur le model ligne de transmission, c'est une antenne patch composée d'un élément rayonnant rectangulaire, d'un substrat de type Duroid (tm), ayant une constante diélectrique de 2.2, d'épaisseur $h = 0.78$ mm et une tangente de pertes de 0.009. Dans le plan de masse on a inséré une structure DGS [2], qui va perturber la distribution du courant dans le plan de masse afin d'améliorer les performances de l'antenne, la défection introduite permet d'empêcher la propagation des ondes de surface, d'augmenter le gain et d'améliorer le diagramme de rayonnement de l'antenne.

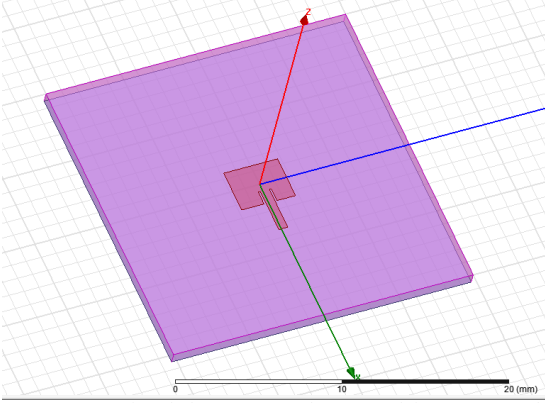


Fig. 2 : Conception de l'antenne patch rectangulaire avec encoche

L'antenne proposée est destinée à opérer à la fréquence 30GHz, La fréquence de résonance, aussi appelée fréquence centrale est sélectionnée au point où le coefficient de pertes par réflexion est minimale.

Pour une fréquence de résonance spécifiée, une permittivité diélectrique constante, la longueur L et la largeur du patch W sont exprimées comme suit [3] :

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2)$$

Avec:

$$L_e = L + 2\Delta L \quad (3)$$

$$W_e = W + 2\Delta W \quad (4)$$

ΔL et ΔW Sont les extensions le long de L et de W . L'extension de la longueur du patch est calculée par la relation :

$$\Delta L = \frac{h}{\sqrt{\epsilon_e}} \quad (5)$$

La constante diélectrique effective est exprimée par la relation [4] :

$$\epsilon_e = \frac{1}{2}(\epsilon_r + 1) + \frac{1}{2}(\epsilon_r - 1) \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-1} \quad (6)$$

f_0 est la fréquence de résonance dans le mode fondamental, calculée par la relation :

$$f_0 = \frac{c}{2L_e \sqrt{\epsilon_e}} \quad (7)$$

L'alimentation est effectuée par une ligne microbande avec encoche. Une simple formulation est élaborée par le travail menée en [5] pour le calcul de la longueur de l'encoche d , cette valeur est désormais constante puisqu'elle n'a aucune influence sur la fréquence de résonance de l'antenne.

$$d = 10^{-4} \times \frac{L}{2} \times [0.001699\epsilon_r^7 + 0.13761\epsilon_r^6 - 6.1783\epsilon_r^5 + 93.187\epsilon_r^4 - 682.69\epsilon_r^3 + 2561.9\epsilon_r^2 - 4043\epsilon_r + 6697]$$

Cette formule est valable pour $2 \leq \epsilon_r \leq 10$

Paramètres géométriques de l'antenne :

Le tableau suivant indique les dimensions de l'antenne patch proposée.

TAB. 1 : DIMENSIONS DE L'ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE.

Fréquence d'opération :	30 GHZ
Permittivité diélectrique ϵ_r	2.2
Longueur du patch, L_p en mm	2.82
Largeur du patch, W_p en mm	3.6
Largeur de la ligne d'alimentation w_d en mm	0.6
Longueur du substrat	20 mm
Largeur du substrat	20 mm
L'épaisseur du substrat	31 mil

Afin d'améliorer le coefficient de pertes par réflexion, on a gravé une géométrie DGS de forme i «I» sur le plan de masse de la structure, cette dernière a pour dimensions : 1.85 mm x 0.25mm [6].

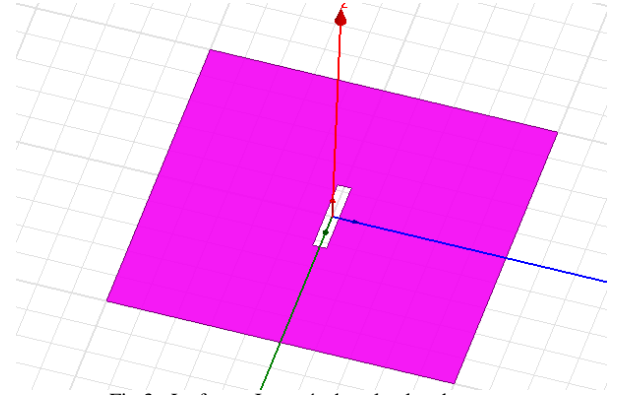


Fig. 3 : La forme I gravée dans le plan de masse

III. RESULTATS

Cette partie présente les résultats de simulation de l'antenne patch avec encoche. Après avoir déterminé la géométrie optimale de l'encoche, On varie la position de la ligne d'alimentation afin de déterminer la position optimale (x , y) où le coefficient de pertes par réflexion est minimale.

Le tableau suivant (reparti en 2) indique les différentes valeurs de position de la ligne d'alimentation et l'influence de cette variation sur les performances de l'antenne.

A. Sans la structure DGS.

TAB II. EFFET DE CHANGEMENT DE LA POSITION DE LA LIGNE D'ALIMENTATION SUR LES PERFORMANCES DE L'ANTENNE

Position de la ligne d'alimentation (X, Y) en mm	Position (0 ; 0)	Position (0 ; 0.1)	Position (0 ; 0.13)	Position (0 ; 0.15)	Position (0 ; 0.17)
Fréquence centrale en Ghz	30	30	30	30	30
Pertes par réflexions en dB	-42.86	-44.4	-45.14	-45.82	-47.57
Impédance (Ω)	50.71	50.04	49.9	50	50.3
Bande passante (MHz)	2600	2600	2600	2600	2600
Gain de l'antenne en dB	9.091	9.07	9.072	9.041	9.097
Position de la ligne d'alimentation (X, Y) en mm	Position (0 ; 0.19)	Position (0 ; 2)	Position (0 ; 0.21)	Position (0 ; 0.23)	Position (0 ; 0.25)
Fréquence centrale en Ghz	30	30	30	30	30
Pertes par réflexions en dB	-47.88	-47.28	-45.84	-45.07	-44.77
Impédance (Ω)	50.1	50.37	50.48	50.27	50.57
Bande passante en MHz	2600	2600	2600	2600	2600
Gain de l'antenne en dB	9.078	9.057	9.163	9.085	9.0965

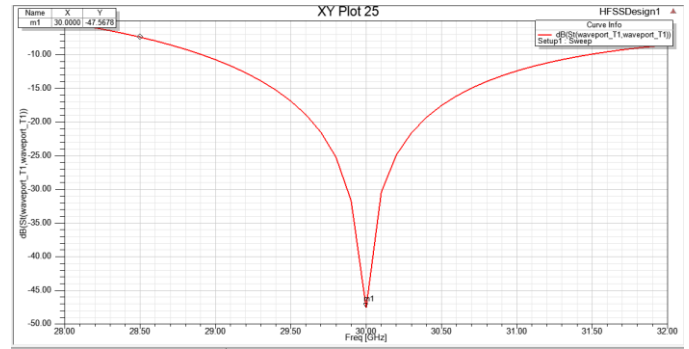


Fig. 4 : Pertes par réflexions a la position (0 ; 0.17) mm

Impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée à la position optimale de la ligne d'alimentation avant l'ajout de la structure DGS est exprimée dans le graph suivant :

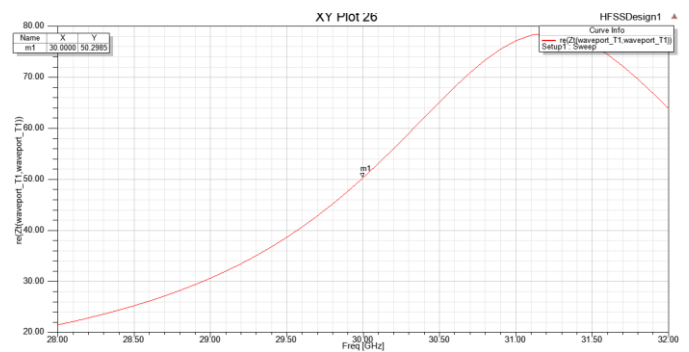


Fig. 5 : Impédance d'entrée a la position (0 ; 0.17) mm

D'après les simulations, on a remarqué que la variation vers le sens des y positive de la position de la ligne d'alimentation le long de la largeur du patch influe notablement sur le coefficient de pertes par réflexion S_{11} , qui varie de -42.86 au centre de l'antenne (position 0,0) jusqu'à une valeur optimale égale à -47.57 a la position (x, y)= (0 ; 0.17) mm. Puis il commence à se dégrader au-delà de cette valeur.

On a constaté également que cette variation influe légèrement sur l'impédance d'entrée pour la fréquence centrale ainsi sur le gain total de l'antenne qui admet une valeur maximale de 9.163dB a la position (x, y)= (0 ; 0.21) mm.

Cependant d'après les résultats obtenus, on peut déduire que la variation de la position de la ligne d'alimentation n'a aucune influence sur la fréquence centrale ou sur la bande passante qui garde une valeur constante égale à 2.6 GHz.

La figure ci-dessous représente le graph de l'antenne proposée à la position optimale (x, y) qui admet le meilleur coefficient de pertes par réflexion :

Pertes par réflexion:

La figure suivante exprime le coefficient de pertes par réflexion de l'antenne sans avoir introduit la structure DGS.

Gain total :

Le gain total en 3D est représenté dans la figure suivante:

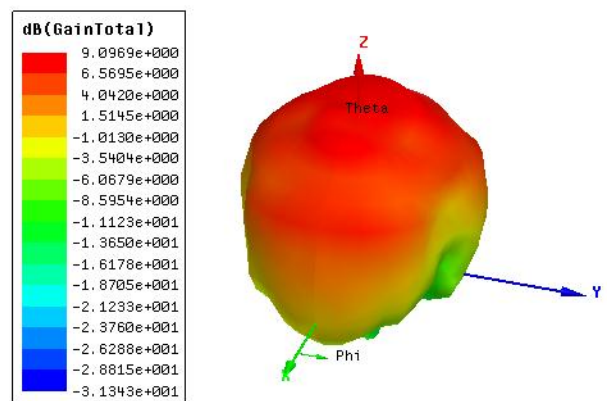


Fig.6 : Gain total a la position (0 ; 0.17) mm

Directivité :

La figure 7 exprime la directivité en 3D de l'antenne sans la structure DGS, la valeur obtenue est de 9.007dB.

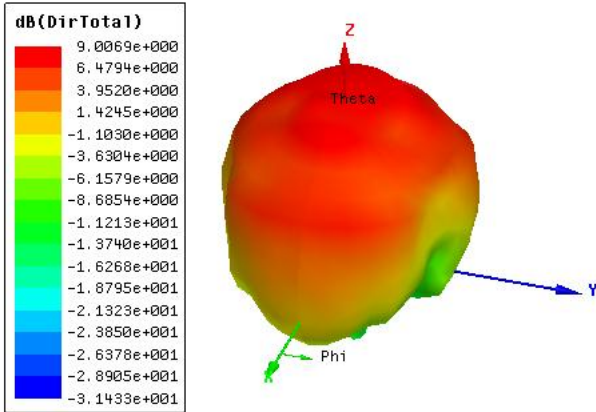


Fig.7 : Directivité de l'antenne sans la structure DGS.

B. Avec la structure DGS :

Les résultats obtenus après l'ajout de la structure DGS sont les suivants :

Coefficient de perte par réflexion avec la structure DGS :

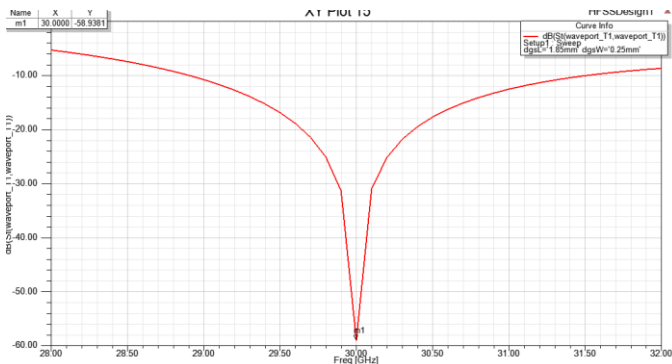


Fig. 8 : Pertes par réflexion avec la structure DGS

En comparant les résultats de l'antenne proposée, avec et sans la structure DGS, on peut déduire que la forme avec DGS apporte une amélioration remarquable en terme de coefficient de réflexion qui varie de -47,56 dB à -58.94 dB. On peut également constater que la bande passante de l'antenne augmente de 100 Mhz, on passe de 2.6 GHz pour le cas de l'antenne sans structure à 2.7 GHz après l'ajout de la structure.

Gain total :

La figure suivante exprime le graph en 3D du gain total obtenu avec la structure DGS, on peut constater qu'il y a une légère variation du gain qui s'est amélioré de 9.096 dB à 9.1133dB.

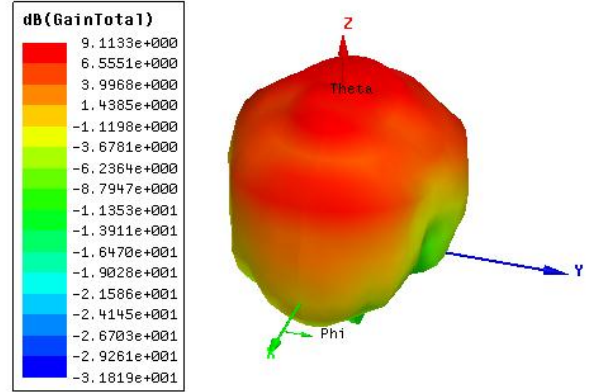


Fig. 9 : Gain total avec la structure DGS

Directivité:

La directivité de l'antenne est exprimée dans le graph en 3D suivant :

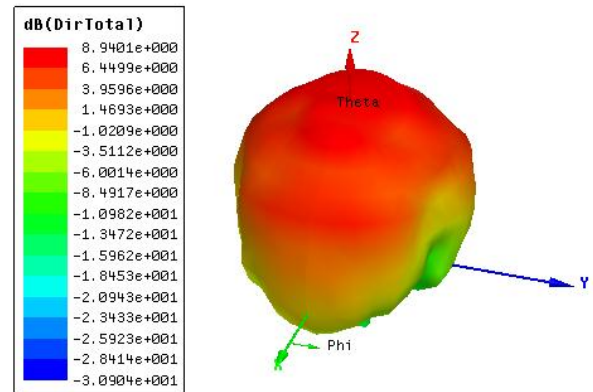


Fig. 10 : Directivité de l'antenne avec la structure DGS.

Le tableau suivant récapitule les résultats de simulations de l'antenne proposée.

TAB. 3 : COMPARAISON DES RESULTATS SIMULES DES DEUX ANTENNES

Paramètres	Antenne patch sans structure DGS	Antenne patch avec structure DGS
Fréquence de résonance	30 GHz	30GHz
Bande passante en MHz	2600	2700
Coefficient de pertes par réflexion En dB	-47.57	-58.94
Gain en dB	9.0969	9.1133
Directivité en dB	9.0069	8.94

IV. CONCLUSION

Ce travail avait pour but d'étudier l'influence de la position de la ligne d'alimentation sur les performances de l'antenne

patch, qui sont les pertes par réflexion, le gain, la directivité et la bande passante de l'antenne. Par la suite on a optimisé l'antenne en introduisant une structure DGS de forme i «I » dans le plan de masse afin de modifier les caractéristiques intrinsèques de l'antenne dans le but d'obtenir une antenne performante et propice pour des applications dans les extrêmement hautes fréquences (EHF), caractérisée par des dimensions et poids réduits, conforme pour l'intégration dans les systèmes miniaturisées, ayant de faibles pertes par réflexion, un fort gain et directivité et une très grande bande passante.

Références

- [1] P. F. Combes, "Les micro-ondes et leurs applications," Micro-ondes 1.Lignes, guides, et cavités
- [2] G. M.M. Antar "Defected Ground Structure for Microstrip Antennas" Microstrip and Printed Antennas.
- [3] K. P. Ray Girish Kumar, "Regularly Shaped Broadband MSAs" Broadband microstrip antennas.
- [4] A. F. Alsager, "Microstrip Antennas "Design and analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays
- [5] M. Ramesh and YIP KB Design Formula for Inset Fed Microstrip patch antenna. *Journal of Microwaves and optoelectronics*, Vol. 3, N°. 3, December 2003.
- [6] G.Singh Microstrip Antenna with defected Ground Structure for Bandwidth enhancement

Performance of MIMO 2*2 and 4*4 for OFDM-MIMO System Without using Convolution Code over Mobile Radio Channel

Younes DJEMAMAR, Saida IBNYAICH, Abdelouhab ZEROUAL

Department of physics
Faculty of Sciences Semlalia – Cadi Ayyad University
Marrakech, Morocco
younes.djemamar@gmail.com

Abstract—Through this research, we are interested to MIMO (multiple input multiple output) telecommunications systems based on orthogonal time-space coding combined with the context OFDM, binds to the LTE technology for the transmission chain. The combination of MIMO and OFDM may exploit the advantages of both methods: the robustness of the chain in frequency-selective channels for OFDM, and the robustness to uncorrelated channels in space for Coded MIMO. For both configurations of multi-antenna systems MIMO 2x2 and MIMO 4x4 based OSTBC and forming square MIMO channels, a comparison study of performances is made between these last in combination with the OFDM technique and a transmission chain based only on the OFDM technique over mobile radio channel, without introducing the convolution codes in all transmission chains. This study shows that the configuration MIMO associated with OFDM provides a significant improvement of performance in term of bit error rate (BER) at reception by using a larger number of antennas in transmission and reception. The proposed schemes were designed and simulated using MatLab environment.

Keywords— OFDM, OFDM-MIMO 2*2, OFDM-MIMO 4*4, OSTBC, Convolution code, BER, Constellation diagram, SNR, Mobile radio channel.

I. INTRODUCTION

In radio, Multiple-input and Multiple-output (MIMO) is a method for multiplying the capacity of a radio link using multiple transmit and receive antennas to exploit multipath propagation. It reduces the fading effects and thus allows improving the quality of the signal [1]. MIMO system has become an essential element of several wireless communication standards [2].

MIMO is also planned to be used in Mobile radio telephone standards such as recent 3GPP and 3GPP2. In 3GPP, High-Speed Packet Access plus (HSPA+) and Long Term Evolution (LTE) standards take MIMO into account. Moreover, to fully support cellular environments, MIMO research consortia including IST-MASCOT propose to develop advanced MIMO techniques, e.g., multi-user MIMO (MU-MIMO) [2].

Spatial multiplexing techniques make the receivers very complex, and therefore they are typically combined

with Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) or with Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) modulation, where the problems created by a multi-path channel are handled efficiently. The IEEE 802.16e standard incorporates MIMO-OFDMA. The IEEE 802.11n standard, released in October 2009, recommends MIMO-OFDM [2].

In this paper, we evaluate the performance of a transmission chain with only the OFDM technique without introducing the convolution codes and the combination system OFDM-MIMO with both configurations of multi-antenna systems 2x2 and 4x4, in term of bit error rate and processing complexity at reception by analyzing the different constellations received, in mobile radio channel where the MIMO sub channels are assumed in the simulations perfectly uncorrelated. Our mean objective is to study the possibility of avoiding the use of convolution codes (error correcting codes) thanks to the MIMO technique, which enhance degradation of spectral efficiency especially for an OSTBC code in a rate less than 1, and to look at the effect in the performance of the system.

II. MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT (MIMO)

A. Basic principle of MIMO

MIMO systems use multiple transmit antennas and multiple receive antennas at the receiver, so both transmit and receive diversity schemes are applied to reduce fading resulting from signal variations by wireless channel. It depends on the degree at which the multiple data replicas are faded independently; the system provides diversity gains which represents the difference in SNR at the output of the diversity combiner as compared to that of single branch diversity at certain probability level [3].

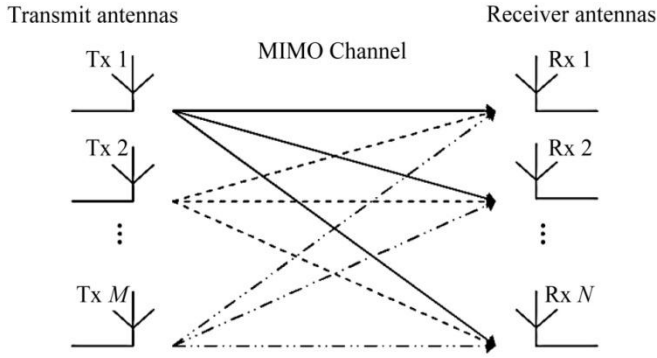


Fig. 1. MIMO channel

The MIMO system theoretically allows increasing the capacity of wireless communication links in comparison with systems composed of a single antenna for transmission and reception. Assuming that the paths between each transmit antenna and reception are independent, Foschini and Telatar showed that the theoretical capacity of the MIMO channel with M transmit antennas and N receive antennas increases linearly with the $\min(M, N)$ [4].

The basic principle of MIMO systems is therefore to combine the signals appropriately as on transmission and reception to exploit spatial diversity and thus reduce the effects of fading or to increase the transmission rate [4].

B. MIMO System on based of orthogonal space-time codes

The space-time codes orthogonal blocks use complex symbols from a modulation affected by coding both in space and in time. The purpose of these codes is to exploit transmit diversity multi-antenna systems. However, they do not exploit the capacity of MIMO systems due to the inherent redundancy of the code used [5].

This coding can verify simultaneously the three properties that are a unitary yield, MN diversity and orthogonality [5].

In the literature, there are several orthogonal codes such as, the STBC code Alamouti, the STBC codes switched between antenna group and the STBC code Tarokh [5]. We are interested to STBC Alamouti code.

III. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM is one of multicarrier transmission methods and perhaps, the most important between them. Each carrier in the available spectrum of OFDM is derived into many carriers and each input data is transmitted on one of available subcarriers. OFDM system is similar to traditional FDM systems. But in OFDM system there is no need for wide guard band to provide reliability which was in FDM. In OFDM, spectrum is used with more efficacy as the channels are much closer. However, in order to be able to restore the transmitted symbols in the receiver, subcarriers should be located in frequency domain such that the energy of the interference caused by each subcarrier becomes exactly zero at the central frequency of the others. Therefore, the signal modulated on each subcarrier is

‘orthogonal’ to others and the data can be restored successfully at the receiver. OFDM is a broadband multicarrier modulation method that offers superior performance and benefits over older, more traditional single-carrier modulation methods because it is a better fit with today’s high-speed data requirements and operation in the UHF and microwave spectrum [6].

The discrete time baseband OFDM system model with N subcarriers is shown in Figure 2. It consists of transmitter block, channel block and receiver blocks [7].

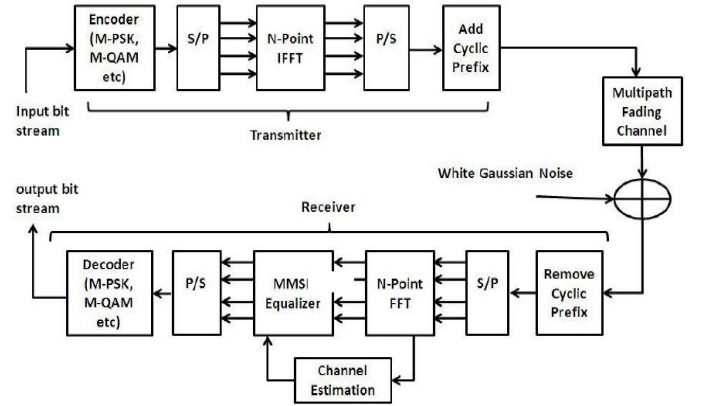


Fig. 2. Baseband OFDM system model

A. Basic principle of OFDM

The system’s basic principle is that the original bandwidth is divided into a high number of narrow sub-bands, in which the mobile channel can be considered non-dispersive. Hence, no channel equalizer is needed [6].

To distribute the data to be transmitted on N carriers, we group the symbols C_k in packets to N . The C_k are complex numbers defined from the bits by a constellation (Mapping) that are often QAM (Quadrature Amplitude Modulation) in several transmission states and PSK (Phase Shift Keying), depending on the flow desired. The sequence of N symbols $C_0 \dots C_{N-1}$ is an OFDM symbol. The K -th symbol stream from N trains modulates a frequency signal. The modulated signal train K is written in complex form:

$$m_k(t) = C_k e^{j2\pi f_k t} \quad (1)$$

The total signal $S(t)$ corresponding to the set of N symbols reassembled into an OFDM symbol:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} m_k(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi f_k t} \quad (2)$$

IV. MIMO-OFDM SYSTEM

The number of paths created by a MIMO system increases with the band and therefore has the effect of increasing the ISI (Inter Symbol Interference). Thus, the system requires a complex estimation of the channel and an equalization technique. The channels are frequency selective. OFDM solves these problems simply and also allows to exploit time and

frequency diversity when it is combined with channel coding and interleaving [8].

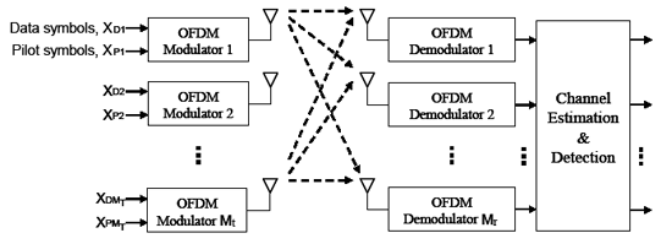


Fig. 3. MIMO-OFDM system

V. MOBILE RADIO CHANNEL

A. Additive White Gaussian Noise (AWGN) Channel

White noise is due to thermal resistors; many other types of noise sources are Gaussian and have a flat spectral density over a wide range of frequencies. Desired signal is degraded by thermal noise associated with the physical channel [9]. The received signal in the interval $0 \leq t \leq T$ may be expressed as:

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (3)$$

Where $s(t)$ is the transmitted signal, $n(t)$ is the sample function of AWGN and $r(t)$ is the received signal.

B. Rayleigh Fading Channel

Rayleigh fading refers to multiple indirect paths between transmitter and receiver and no distinct dominant paths (no Line of site path). Performance characteristics can be changed for different environments. It is used in outdoor environment and larger cells [9]. The probability density function of a Rayleigh fading channel is defined as follows:

$$P(R) = \frac{R}{\sigma^2} e^{-\frac{R^2}{\sigma^2}} \quad (4)$$

From this equation, the envelope fluctuation follows a Rayleigh distribution and the phase fluctuation follows uniform distribution on the fading in the propagation path [9].

VI. SIMULATED RESULTS AND DISCUSSION

In our study, we start by simulating the basic transmission chain using only OFDM technique with size 64 subcarriers and without introducing the convolution codes at the emission. Afterwards, we add the MIMO technique with its various configurations 2×2 with Alamouti code and 4×4 by using the spatial diversity with the orthogonal space-time coding (OSTBC) having rate $1/2$. To form the symbols to be transmitted, the modulation technique 16QAM with Gray encoding is used for all simulation steps.

The channel model used in the simulations is the Rayleigh model with AWGN. The MIMO sub channels are assumed in the simulations perfectly uncorrelated.

The decoding of STBC codes at the reception is done simply based maximum-likelihood estimation MV decoder.

We evaluate the performance of each chain in terms of BER at reception and received constellations.

A. BER Performance

The figure below shows the BER performance according to SNR for the OFDM technique only, and with different configurations of OFDM-MIMO 2×2 and 4×4 .

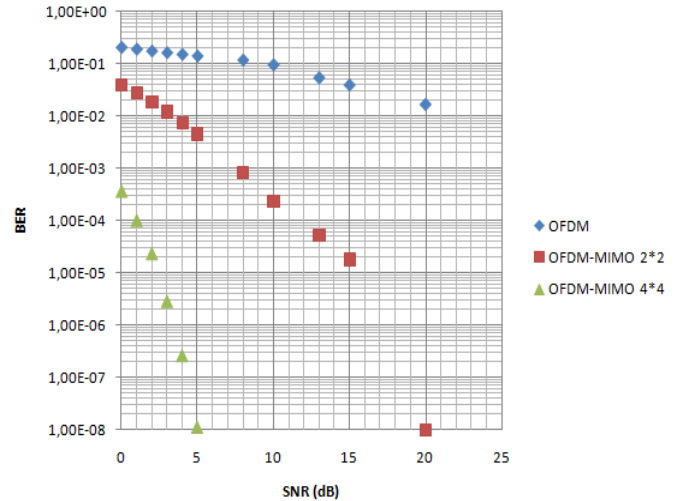


Fig. 4. Performance estimation of OFDM-MIMO for different configurations of MIMO 2×2 and 4×4 using Alamouti code and 16-QAM modulation

The results illustrated in Figure 4 show clearly that the spatial diversity is more powerful than the OFDM technique only. As well, increasing the number of antennas at the transmission and reception ensures a significantly low error rate.

TABLE I. BER VALUES OF OFDM SYSTEM AND OFDM-MIMO SYSTEM FOR DIFFERENT CONFIGURATIONS FOR SNR=0 dB AND 5 dB AS SHOWN IN FIG.4

Technique	BER values at SNR=0db	BER values at SNR=5db
OFDM	$20,87.10^{-2}$	$16,64.10^{-2}$
OFDM-MIMO 2×2	$39,821.10^{-3}$	$46,212.10^{-4}$
OFDM-MIMO 4×4	$37,31.10^{-5}$	$22,04.10^{-9}$

In the table above we give the BERs obtained using different techniques, for SNR values of the channel SNR=0db and 5db. The results show that the BER obtained becomes smaller by introducing the MIMO technique and using a greater number of antennas for transmission and reception for SNR=0db (low signal to noise ratio). The difference between these values of the BER becomes even greater just for SNR=5db (yet little small signal to noise ratio).

So, the decrease of the BER becomes faster and larger by adding MIMO technique with larger number of antennas in transmission and reception over channel with higher SNR.

B. Constellations received

The three figures 6, 7 and 8 below show the constellations of symbols received in 16-QAM, respectively using OFDM

system only and OFDM-MIMO systems with the configurations of MIMO 2*2 and 4*4 over Rayleigh channel whit AWGN for SNR=10db.

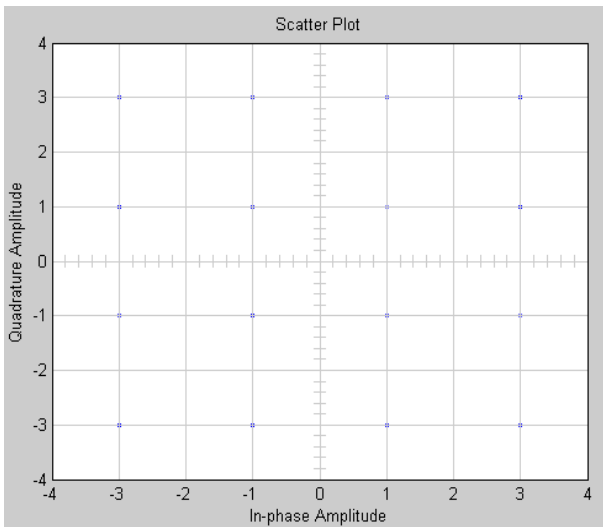


Fig. 5. Constellation of transmitted symbols 16-QAM

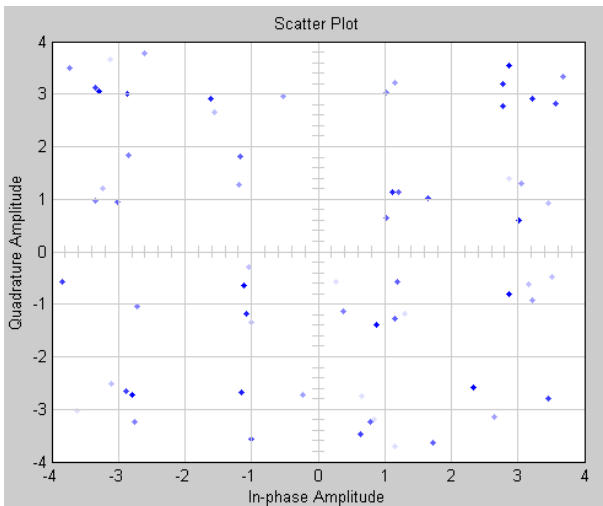


Fig. 6. Constellations received 16-QAM using OFDM system

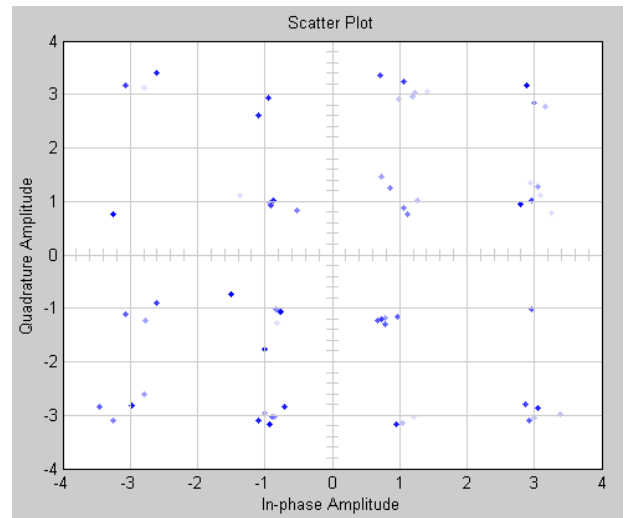


Fig. 7. Constellations received 16-QAM using OFDM-MIMO 2*2 system

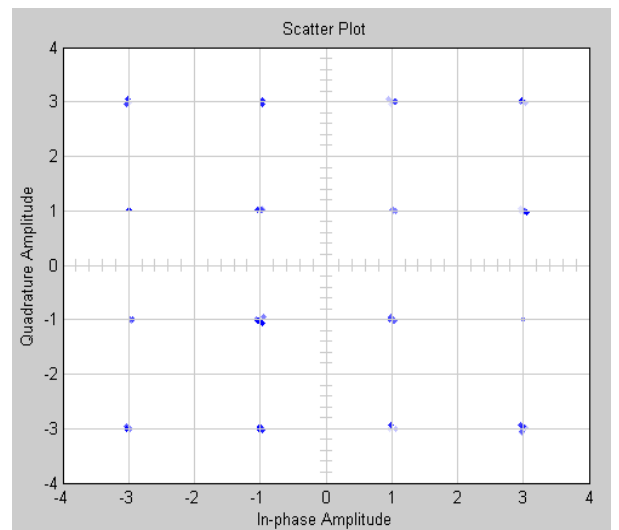


Fig. 8. Constellations received 16-QAM using OFDM-MIMO 4*4 system

The use of combination system OFDM-MIMO based on orthogonal time-space coding and using a larger number of antennas in transmission and reception ensure a significantly low error rate over mobile radio channel. Consequently, the treatment and the decision at the reception become easier.

The combination system OFDM-MIMO using a larger number of antennas in transmission and reception is more powerful and more efficient in term of BER in mobile radio channel with a higher signal to noise ratio.

CONCLUSIONS

The use of combination system OFDM-MIMO based on orthogonal time-space coding OSTBC and using a larger number of antennas in transmission and reception ensure a significantly low error rate over mobile radio channel.

The combination system OFDM-MIMO using a larger number of antennas in transmission and reception is more

powerful and more efficient in term of BER in mobile radio channel.

We could achieve these results through different schemes designed based on the combination of the OFDM-MIMO techniques without introducing convolution codes (without redundancy) by assuming the MIMO sub channels perfectly uncorrelated, which contribute to improve the transmission rate especially for an OSTBC code in a rate less than 1.

REFERENCES

- [1] Lipfert Hermann, MIMO OFDM Space Time Coding-Spatial Multiplexing, Increasing Performance and Spectral Efficiency in Wireless Systems, Part I Technical Basis (Technical report), Institut fur Rundfunktechnik, August 2007.
- [2] Berger Lars T, Schwager Andreas, Pagani Pascal and Scheneider Daniel M, MIMO Power Line Communications Narrow and Broadband Standards, EMC, and Advanced Processing, Devices, Circuits and systems, ISBN 9781466557529, February 2014.
- [3] A. S. Kushwah, P. Rathore and R. Kumar, "Performance Estimation of 2*4 MIMO-MC-CDMA Using Convolution Code in Different Modulation Technique Using ZF Detection Scheme," International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), vol. 10, Number 13, Apr 2014.
- [4] D. Le Ruyet and B. Ozbek, Systèmes MIMO et codage spatio-temporel, CNAM, Paris, France.
- [5] M. Benyarou, Optimisation des Systèmes Multi-antennes Appliqués aux Systèmes MC-CDMA, Laboratory of Telecommunications-Tlemcen (LTI), Faculty of Technology, Abou Bakr Belkaidi-Tlemcen University, 2013.
- [6] G. Kaur and S. Garg, "Performance Evaluation of OFDM System for Different Modulation Techniques on the basis of Bit Error Rate and Peak to Average Power Ratio," Communication on Applied Electronics (CAE) – ISSN: 2394-4714, Foundation of Computer Science FCS, New York, USA, vol. 1-No. 2, January 2015.
- [7] A. Jain and S. Sharma, "Performances Analysis of Channel Estimation in MC-CDMA over OFDM in Fading & Non Fading Channel Environment," International Journal of Computer Science and Mobile Computing, vol. 4, Issue. 8, August 2015, pg. 1-7.
- [8] T. Dubois, Application du Retourneement Temporel aux Systèmes Multi-porteuses: Propriétés et Performances, IETR Laboratory, INSA Rennes, Fev 2013.
- [9] B. Sarala, D. S. Venketeswarlu, B. N. Bhandari and B. Srinivas, "Discrete Transforms based MC-CDMA PAPR, Reduction using MECCT and Bit Error Rate, Performance Analysis over Mobile Radio Channels," Proc. of International Conference on Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing, ITC.

Optimisation et Analyse des Performances de deux Types de Protocoles de Routage Dédies aux Réseaux de Capteurs Sans Fil ‘WSN’

A. MOUIZ, A. BADRI, A. BAGHDAD

Laboratoire d'Electronique, Energie, Automatique & Traitement de l'Information (EEA&TI),
Faculté des Sciences et Techniques – (FSTM), B.P. 146 Mohammedia 20650 Maroc
Université Hassan II – Casablanca, Maroc
anas.mouiz@gmail.com

Résumé— Les progrès récents dans les réseaux de capteurs ont conduit à de nombreux nouveaux protocoles spécifiquement conçus pour les réseaux de capteurs sans fil où l'efficacité énergétique est devenue l'une des priorités majeures dans leur conception.

Dans ce papier, nous examinons deux types de protocole : Protocole de routage hiérarchique LEACH et le Protocole de communication non hiérarchique SPIN. Le premier est un protocole basé sur le regroupement qui utilise la rotation aléatoire de stations de base locales au sein de ces regroupements afin de répartir uniformément la charge de l'énergie entre les capteurs dans le réseau. Le deuxième protocole permet de disséminer les informations sur le réseau de manière ciblée et utilise essentiellement trois types de message ADV/REQ/DATA pour communiquer entre les nœuds. Chaque protocole est décrit et discuté dans sa propre catégorie. L'article se termine par une analyse des discussions ainsi qu'une simulation permettant une réduction de la dissipation d'énergie et une durée de vie de réseau plus grande.

Mots clés— Réseau de capteurs sans fil, durée de vie, protocole de communication, optimisation d'énergie, routage, localisation, LEACH et SPIN.

I. INTRODUCTION

Les réseaux de capteurs sans fil avec un grand nombre de nœuds de capteurs minuscules peuvent être utilisés comme un outil efficace pour la collecte des données dans diverses situations et surtout dans les environnements les plus hostiles. Dans un réseau de capteurs, chaque nœud joue le rôle de source et de relais. De ce fait, la défaillance énergétique d'un capteur peut changer significativement la topologie du réseau et imposer une réorganisation coûteuse de ce dernier.

L'un des principaux problèmes dans les réseaux de capteurs sans fil est l'élaboration d'un protocole de routage avec un haut rendement énergétique et l'adaptation de la méthode d'acheminement utilisant un grand nombre de nœuds possédant de modestes capacités de calculs et de sauvegarde sans dégradation des performances du système en augmentant la durée de vie globale du réseau [1]. En raison de ces différences, plusieurs protocoles ont été proposés afin de résoudre le problème d'acheminement des données dans ces

réseaux de capteurs. Les protocoles de routage se différencient en fonction de l'application et de l'architecture du réseau.

Cet article vise à présenter une analyse des performances de deux types de protocoles de routage qui sont dédiés aux réseaux de capteurs sans fil en termes de consommation d'énergie. La suite de l'article est organisée de la manière suivante. Dans la section II, une description du protocole de routage hiérarchique LEACH est donnée. Ensuite, la section III examine le protocole de communication non hiérarchique SPIN. Une analyse comparative des deux approches étudiées est discutée dans la section IV. Enfin, Nous dressons la conclusion dans la dernière section.

II. PROTOCOLE DE ROUTAGE HIERARCHIQUE : LEACH

Low energy adaptive clustering hierarchy ou LEACH [9] est un protocole de routage hiérarchique qui divise le réseau en zones et clusters de façon distribuée, des nœuds CH (Cluster Head) sont constitués puis utilisés comme relais pour atteindre la Station de Base en optimisant la consommation d'énergie suivant un algorithme qui utilise la rotation des CH pour distribuer équitablement la charge d'énergie entre les nœuds du réseau [2]. Un nœud décide quel cluster rejoindre en se basant sur la puissance des signaux reçus. La figure suivante présente l'architecture de ce protocole de communication.

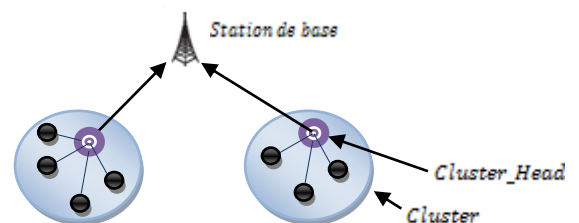


Fig. 1. Architecture de communication.

L'idée est de former des clusters de nœuds capteurs en se basant sur la puissance du signal reçu, et d'employer les CH pour acheminer les messages locaux vers la station de base en augmentant la durée de vie globale du système [3]. A la

formation des groupes, tous les nœuds non-CH transmettent leurs données à la tête du groupe. Quand le CH reçoit les données de tous les membres du groupe, il effectue des fonctions de traitement sur les données et les transmet à la station de base selon une communication unicast Single-Hop. L'algorithme de base de ce protocole se déroule en rounds, où chaque cycle commence par une phase d'initialisation suivie d'une phase de transmission.

Lors de la première phase, les nœuds s'auto-élisent pour être des CH. Ils se basent sur le pourcentage des CH désiré dans le réseau et sur le nombre d'itérations au cours duquel un nœud a pris le rôle du CH. Chaque nœud i génère un nombre aléatoire entre 0 et 1. Si ce nombre est inférieur à une probabilité $P_i(t)$ le nœud se déclare CH [4]. Si on a N nœuds et K CH, alors, il faudra N/K rounds durant lesquels un nœud doit être élu seulement une seule fois autant que CH avant que le round soit réinitialisé à 0. La probabilité de devenir CH pour chaque nœud i est :

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{K}{N - K * (r \bmod \frac{N}{K})}, & C_i(t) = 1 \\ 1 & C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Avec r est l'itération actuelle, $C_i(t)$ égal à 0 si le nœud i a déjà été CH durant l'un des $r \bmod N/K$ itérations précédents, et il est égal à 1 dans le cas contraire. Ensuite, chaque CH informe les autres nœuds non-CH de son élection en utilisant le protocole MAC CSMA pour éviter les collisions entre les CH. Chaque nœud choisit le CH le plus proche en se basant sur l'amplitude du signal reçu. Après la formation des clusters, chaque CH agit comme un centre de commande local pour coordonner les transmissions des données au sein de son groupe [5]. Il crée un ordonnanceur Schedule TDMA (Time Division Multiple Access) et assigne à chaque nœud membre un slot de temps durant lequel il peut transmettre ses données. Afin d'empêcher les interférences entre les messages des clusters qui sont proches, chaque CH choisit aléatoirement un code dans une liste de codes CDMA (Code Division Multiple Access) et il le transmet aux nœuds appartenant à son groupe pour l'utiliser pendant la transmission.

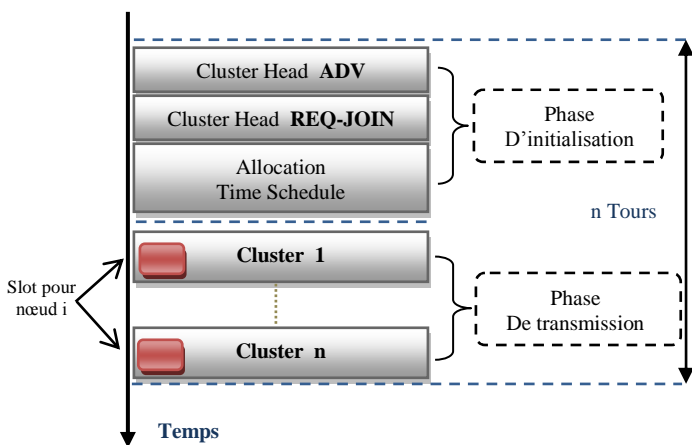


Fig. 2. Répartition du temps et différentes phases pour chaque tour.

La phase de transmission est plus longue que la phase précédente (figure. 2), elle permet la collecte de données captées. En utilisant l'ordonnanceur TDMA, les membres émettent leurs données captées pendant leurs propres slots. Cela leur permet d'éteindre leurs interfaces de communication en dehors de leurs slots afin d'économiser leur énergie. Ces données sont ensuite agrégées par les CH qui les fusionnent et les compressent, et envoient le résultat final au nœud puits.

Après un certain temps prédéterminé, le réseau va passer à un nouveau round. Ce processus est répété jusqu'à ce que tous les nœuds du réseau seront élus CH, une seule fois, tout au long des rounds précédents. Dans ce cas, le round est réinitialisé à 0.

III. PROTOCOLES DE COMMUNICATION NON HIERARCHIQUE : SPIN

Sensor protocols for information via negotiation ou SPIN est un protocole basé sur la négociation, il est parmi les premiers travaux poursuivant un mécanisme de routage data-centric. L'idée principale du protocole SPIN est de nommer les données à l'aide des descripteurs de haut niveau ou des méta-données. Avant l'émission, les méta-données sont échangées entre les capteurs via un mécanisme d'annonce de données, qui est l'élément clé de SPIN. Lors de la réception de nouvelles données, chaque nœud fait comme une promotion aux nœuds voisins intéressés, et ceux qui ne disposent pas des données, ils les récupèrent en envoyant un message de demande [6]. La négociation des méta-données de protocole SPIN résout les problèmes classiques d'inondations telles que des informations redondantes passant, chevauchement des zones de détection, ainsi que la gestion de l'efficacité énergétique. Le protocole SPIN utilise essentiellement trois types de paquets ADV/REQ/DATA afin d'échanger des données entre les nœuds. Un nœud voulant émettre une donnée commence par envoyer un paquet ADV. Ce paquet ADV consiste d'une méta-données sur les données à émettre. Les méta-données peuvent décrire plusieurs aspects comme le type des données et la localisation de son origine [7]. Les nœuds qui reçoivent ce paquet vérifient si les données les intéressent. Si oui, ils répondent par un paquet REQ. Le nœud qui a initié la communication envoie alors un paquet DATA pour chaque réponse REQ reçue. La figure ci-dessous représente un résumé des étapes du protocole SPIN.

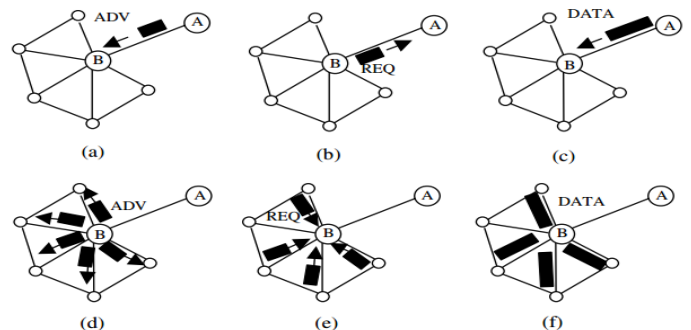


Fig. 3. Fonctionnement du protocole SPIN [7].

Le protocole SPIN [8] commence par la publicité de ses données en envoyant un paquet ADV au nœud B (a) à partir du nœud A. Le nœud B répond en envoyant une demande REQ au nœud A (b). Après avoir reçu les données demandées (c), le nœud B envoie ensuite des annonces à ses voisins (D), qui transmet à son tour des requêtes vers B (e, f). La force de ce protocole réside dans sa simplicité. Chaque nœud du réseau effectue une décision correcte quand il reçoit de nouvelles données, et perd donc peu d'énergie dans le calcul.

IV. DISCUSSION ET ANALYSE

Le protocole de routage hiérarchique vise à regrouper les nœuds afin que les CH puissent faire un peu d'agrégation et de la réduction de données en vue d'économiser l'énergie. Le protocole LEACH utilise le routage multi-sauts en formant des chaînes et en sélectionnant un seul nœud pour transmettre les données à la station de base au lieu d'utiliser plusieurs nœuds du réseau. Par contre, le protocole Data-centric ou centré sur les données est fondé sur une requête et dépend de la dénomination des données désirées, qui aide à éliminer les nombreuses transmissions redondantes. Le protocole SPIN a été étudié pour cette famille, où les capteurs annoncent la disponibilité des données permettant aux nœuds intéressés de les rechercher. D'autres protocoles de routage existent dans la littérature. Mais le choix du protocole de routage adéquat dépend de plusieurs paramètres tels que, la densité du réseau, la plateforme utilisée, la nature de l'application et la qualité de service demandée. Cependant, le tableau suivant présente une comparaison théorique entre les deux protocoles LEACH et SPIN.

TABLE I. COMPARAISON THEORIQUE ENTRE LEACH ET SPIN

Protocoles	LEACH	SPIN
Classification	Hiérarchique	Plat
Mobilité	SB fixe	Possible
Agrégation des données	✓	✓
Durée de vie du réseau	Très bonne	bonne
Utilisation des méta-données		✓
Localisation	✓	
Objectif	Formation des clusters pour prolonger la durée de vie distribuée	Echanger des méta-données pour réduire le nombre de messages

Nous avons montré dans le tableau ci-dessus si le protocole de routage utilise l'agrégation des données ou non, car il y'a une considération importante pour ces protocoles de routage en termes d'économie d'énergie et l'optimisation du

trafic. Nous avons également inclus le tableau par les objectifs visés par chaque protocole de routage. Cependant, la méthode la plus optimale en terme de consommation énergétique et la plus connu et que les chercheurs l'adapte est celle du protocole de routage hiérarchique. Le protocole LEACH, est parmi les premiers protocoles à adopter le Clustering comme solution au problème de la consommation de l'énergie sur les réseaux de capteurs sans fil, cette technique permet de réduire, considérablement, la consommation en énergie par rapport au protocole SPIN, en subdivisant le réseau global en plusieurs sous réseaux, où chacun d'eux est représenté par un seul CH qui s'occupe de la dissémination des données vers la station de base, alors que les autres nœuds du Cluster permettent une dissémination de données locale vers le CH. Il adopte une agrégation de données au niveau des CH pour réduire la taille des données transmises à la Station de base, et par conséquent, il permet de consommer moins d'énergie.

Dans le cadre de ce travail, nous réalisons une simulation du protocole LEACH sur MATLAB R2015b. Le réseau contient 100 nœuds répartis sur une surface de 50 m x 50 m. Les nœuds ont une énergie initiale de 0.5J. Le pourcentage optimal d'avoir des Cluster-Heads est de 0.05. On exécute la simulation sur 1600 tours.

Les paramètres utilisés dans cette simulation sont résumés dans le tableau ci-dessous :

TABLE II. LES PARAMETRES DE SIMULATION

Paramètre	Valeur
Nombre de nœuds	100 + SB
Surface de simulation	50 m, 50 m
Position de la station de base	0 m, -100 m
Pourcentage de Cluster-Heads	P = 0.05
Energie initiale de chaque nœud	$E_0 = 0.5 \text{ J}$
Nombre de tours	$T_{\max} = 1600$

Les résultats ainsi obtenus, après 1600 tours, sont représentés par les deux figures ci-dessous :

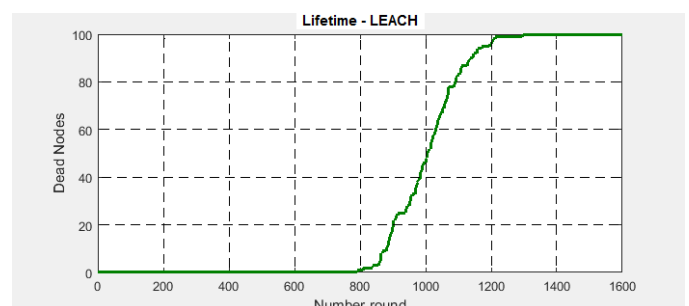


Fig. 4. Nombre de nœuds morts après 1600 tours

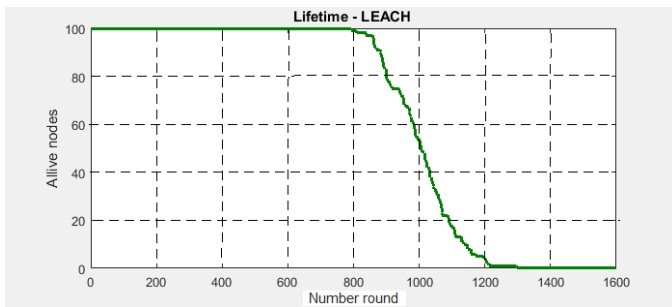


Fig. 5. Nombre de nœuds en fonction des tours

Ces figures représentent le nombre total de nœuds ‘morts’ dans le réseau global. Elles montrent que dans le protocole LEACH, les capteurs s’épuisent au même rythme jusqu’au round 90. Vers le 100ème round, on remarque que le nombre de nœuds morts augmente et que la simulation s’arrête en moyenne au round 1600. Donc, On suppose que la simulation s’arrête lorsque plus de 50% des capteurs meurent.

Par la suite, l’énergie initiale disponible dans notre réseau est de 50J soit 0,5J par nœud. Les nœuds capteurs consomment de l’énergie lors des transmissions et réceptions. La simulation du protocole s’arrête lorsque le nombre de nœud morts atteint 50%. Ainsi, l’énergie résiduelle du réseau est l’énergie totale restante des 50% des autres nœuds vivants.

Ces protocoles ont motivé la conception de nombreux autres protocoles qui suivent un concept similaire. Nos futurs travaux porteront sur l’amélioration du protocole le plus performant, présentant de meilleurs résultats en termes de fiabilité, durée de vie et conservation d’énergie. Ce qui montre que le protocole de routage hiérarchique exploite mieux le réseau ce qui permet de prolonger la durée de vie du réseau.

V. CONCLUSION

Au cours de ces dernières années, le protocole de routage est devenu une des techniques les plus utilisées dans les réseaux de capteurs sans fil. L’un des principaux problèmes dans la conception de ces protocoles de routage est de savoir comment utiliser efficacement l’énergie. Dans ce papier, nous avons présenté une étude de deux types de protocoles de routage LEACH et SPIN pour les réseaux de capteurs sans fil. Ensuite, nous avons effectué une étude comparative ayant comme objectif principal la gestion de la consommation énergétique

de manière efficace. En fin, les résultats de simulations ont montré que le protocole LEACH présente de meilleures performances en termes de fiabilité, durée de vie et conservation d’énergie.

Bien que de nombreux protocoles de routage aient été proposés pour les réseaux de capteurs sans fil, d’autres recherches sont nécessaires afin de trouver un schéma de routage efficace, évolutif et robuste pour réduire la dissipation énergétique et prolonger la durée de vie globale du réseau.

Références

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey, *Computer Networks*”, Volume 38, Issue 4, 15 March 2002, Pages 393-422, ISSN 1389-1286
- [2] A. Mouiz, A. Badri, A. Baghdad, A. Ballouk, and H. Lebbar, “Analysing Study of a Contribution to Minimize the Energy Consumption and Improve the Performance of Wireless Sensor Networks”, *International Journal of Computer Science and Information Technology & Security (IJCSITS)*, ISSN: 2249-9555 Vol.6, No1, Jan-Feb 2016.
- [3] J. N. Al-Karaki, and A. E. Kamal, “Routing Techniques in wireless sensor network: a survey”, *IEEE Wireless Commun.* 11(6), 6–28 (2004).
- [4] J-Shin Chen, and Z-Wei Hong, “Efficient Cluster Head Selection Methods for Wireless Sensor Networks”, *Journal of Networks*, Vol.5, No.8, August 2010.
- [5] Wendi Beth Heinzelman, “An Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Micro-sensor Networks”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Massachusetts Institute of Technology, Vol.1, No.4, October 2002.
- [6] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, “Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks”, in: *Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 99)*, Seattle, WA, August 1999.
- [7] J. Kulik, W.R. Heinzelman, and H. Balakrishnan, “Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks”. In: *Wireless Networks*, Vol 8, pp. 169-185, 2002.
- [8] Jian Wan, “A REVIEW OF ROUTING PROTOCOL IN WIRELESS SENSOR NETWORKS”, *IEEE Communications Magazine*, vol.40, Issue:8, December 2008.
- [9] Yaye M. Sarr, “Réduction des clusters singletons dans le protocole LEACH pour les réseaux de capteurs sans fil”, CNRIA2015.

Session 8

Production et Pilotage des Performances

Stochastic programming for supplier selection and order allocation under demand uncertainty

ASSELLAOU Hanane / OUHBI Brahim

LM2I laboratory. ENSAM-Meknes
Meknes, Morocco
Hanane.assellaou@gmail.com
ouhbi@yahoo.co.uk

FRIKH Bouchra

LTTI laboratory, EST-Fès,
Fès, Morocco
bfrikh@yahoo.com

Abstract- In today's competitive operating environment one of the chief factors in success of outsourcing is the suppliers. Hence, it becomes imperative for an organization to choose suppliers carefully who cater to its needs. In this paper, a multi-objective programming model by considering four objective functions for selecting a set of suppliers considering stochastic demand is proposed. We obtain an analytical solution when the product's demand is uniformly distribution.

I. INTRODUCTION:

Nowadays, companies have realized that improvements in competitiveness must be achieved by extending their focus to the purchasing function which is increasingly considered by managers as a key strategic tool to achieve competitive advantage and to ensure the viability of the company. The success of manufacturing lies hugely on selecting best suppliers.

Uncertainty and imprecision are inherent in real life. Management of supply chain is a complicated process of stochastic and complicated events among different parts of a supply chain. Therefore, managing uncertainty is a main challenge within supply chain management. The supplier selection problem is obviously affected by the complexity and uncertainty due to the lack of information associated with related business environment in a global market. In recent years, it has seen a growing attention given in the field of uncertainty on the selection of suppliers with different criteria such as quality level, delivery, capacity, price, service... Different supplier selection models have been developed by different scholars to deal with uncertainty in the field of supplier selection. These models are often developed using mathematical theories such as linear programming, nonlinear programming, multiple objectives linear and nonlinear mathematical models, decision theory and game theory.

Due to the nature of supplier selection problem as a multicriteria decision problem, the multiple objective programming (MOP) model was first introduced by Weber and Ellram (1993) as a technique for selecting vendors in procurement

environment characterised by multiple conflicting criteria. MOP models involve more than one objective regardless of whether there are goal target levels involved. The main aim of multi-objective programming is to assist a decision maker to choose a preferred solution among all the trade-offs. Its main advantages are that it is easy to implement, efficient and a very intuitive way to knowledge representation due to the ability of the human mind to comprehend it. MOP take the form of linear, integer, and mixed integer which have continuous, discrete, and both continuous and discrete solutions respectively.

In this context, a multi-objective programming model by considering four objective functions (minimizing total costs, maximizing quality level, minimizing lead time, and maximizing service level) for selecting a set of suppliers considering stochastic demand is proposed.

The remainder of this paper is structured as follows. Section 2 presents a literature review that presents studies about supplier selection under uncertain decisions. Section 3 presents problem description while section 4 provides problem formulation. Section 5 presents an illustrative example to demonstrate the proposed model. Conclusions and directions for future research are given in section 6.

II. RELATED WORKS:

The supplier selection problem has attracted the attention of a number of researchers who have proposed various models and solutions. In real cases, majority of the input information is not known precisely and the criteria are not equally important.

Numerous studies about supplier selection under uncertainty have centered on the type of supplier selection methods applicable under uncertain conditions. A mixed integer programming method has been used by [23] to determine the suppliers and the corresponding order quantities among the selected suppliers under stochastic demand. [16] investigated the implications of uncertain supplier reliability on a firm's sourcing decisions. [17] proposed an integrated methodology and its

solution for supplier selection problem. In the two-stage stochastic programming model demand is assumed as uncertain. [11] developed a mathematical model for evaluating and selecting efficient suppliers when faced with supply and demand uncertainties. [13] presented a two-stage stochastic mixed integer linear programming model to determine robust delivery profile assignments under uncertain and infrequent demands and complex tariff systems. [3] solved a multiobjective chance constrained programming problem, with uncertain demand, capacities, and purchasing and transportation cost. [18] proposed new heuristics for the supplier selection and purchase problem for a multi-echelon defective supply chain system with stochastic demand. [6] considered a detailed mathematical formulation for the problem of designing supply chain networks and operating under time varying demand uncertainty. [5] developed a multi-echelon inventory model for supplier selection problem under stochastic demand and lead times. [4] studied a multi-stage supplier selection problem in the fashion apparel supply chain in the presence of carbon emission tax under uncertain demands.

As the prices of raw materials fluctuate, supplier selection must take into account the prices uncertainty. [19] study combined timing and quantity flexibility contracts under price uncertainty, [20] extended the problem to the case of a period-by-period supplier selection and evaluation, in which the buyer firm faces non-stationary stochastic price and demand. [7] developed the mixed integer scenario-based stochastic programming method to model the supplier selection problem in global context with multiple buyers, currency fluctuation uncertainties, and price discounts. [12] proposed interactive two-phase fuzzy multi-objective linear programming model to solve a supplier selection problem and order allocation problem under multi-price level and multi-product.

Delivery time is one of the main criteria for evaluating the performance of suppliers. Therefore, from a different viewpoint, uncertainty and its sources, which directly affect delivery time, could not be ignored easily. [9] applied the stochastic programming method to address the delivery uncertainty. [21] developed a mathematical model which considers multiple supplier single-item inventory systems. The item acquisition lead times of suppliers are random variables.

Others researchers have addressed risk uncertainty or sourcing risk through quantitative models. For instance, [22] developed a scenario-based stochastic model and a chance-constrained model for suppliers selection. Their model captured the risk associated with uncertain customer demand and supplier capacity.

According to the literature, supplier's capacity has been considered as a type of supply risks and has attracted some academic attentions; [10] developed a fuzzy multi-objective mathematical model which captures the inherent uncertainty in customers' demand, suppliers' capacity, and percentage of returned products as well as existence of conflicting objectives in reverse logistics systems. [2] developed a multi-objective optimization model to mitigate operational risks pertaining to uncertainties related supplier's capacity, product demand, transportation and variable costs and lead time probability distributions. [8] developed a supplier selection model with total cost minimization over the suppliers subject to capacity constraint that has a stochastic nature stemming from stochastic demand behavior

Uncertainty criteria other than the four main uncertainty factors listed before are taken into account in some researches, for instance, He et al (2009) addressed a particular vendor selection problem in which the quality and service factors were considered to be stochastic. [14] suggested a Chance-Constrained Data Envelopment Analysis to evaluate the performance of suppliers in the presence of multiple uncertain performance measures. [1] presented a decision making scheme for choosing appropriate method for supplier selection under certainty, uncertainty and probabilistic conditions.

III. PROBLEM DESCRIPTION

Consider a supply chain management problem having a single producer who is receiving components from different suppliers to assemble some products. Each product has an associated demand which need to be met to the fullest extent. Also, each supplier is capable of supplying a limited capacity of each product. Hence, this supplier selection problem has multiple conflicting objectives such as total cost, quality, lead time, and service level subject to the constraints such as demand and capacity. The problem is stochastic in nature since demand is not deterministic rather stochastic or probabilistic in nature.

The first objective function Z1 minimizes the total cost which comprises of ordering cost as well as purchasing cost which include the expected defect rate from supplier i in which the cost of defected component is equal to its price, and delay cost. The second objective function Z2 minimizes the total percentage of poor quality of purchased components while the third objective function Z3 minimizes the total lead time and the latest objective function Z4 maximizes the total service level.

Constraint given by Eq. (5) ensures that the number of ordered components of products should be equal to or less than the supplier's capacity. Equation (6) ensures the demand constraint. Constraints in Eqs.

(7) and (8) enforce binary and non negativity condition in the decision variables, respectively

IV. PROBLEM FORMULATION:

i 1,2,...,m suppliers

j 1,2,...,n products

x_{ij} : 1 if supplier i is assigned as supplier of components for product j , 0 if otherwise

y_{ij} : The amount of components for product j shipped from supplier i

D_j : Demand random variable of product j

LD_j : Low demand for product j

HD_j : High demand for product j

C_i : Capacity at supplier i

s_{ij} : Service level of product j offered by supplier i

d_j : unit delay cost of components for product j

t_{ij} : Delay time at supplier i for components of product j

a_{ij} : Percentage of delivered components of product j at supplier i

O_i : cost of ordering components for products from supplier i

p_{ij} : purchasing cost of components for product j from supplier i

q_i : Defect rate of supplier i

ϵ_d : Pre-determined satisfaction level of probabilistic demand constrain

Q_{ij} : Percentage of poor quality components of product j procured from supplier i

$$S_{ij} = \frac{\text{satisfied ordered components of product } j \text{ to the supplier } i}{\text{ordered components of product } j \text{ to the supplier } i}$$

In this paper, the random variable of product demand j is considered a uniform probability distribution. Density function is defined as: $f(D_j) = \frac{1}{LD_j - HD_j}$

$$\text{Minimize Z1: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n O_i x_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} (1 + q_i) x_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^n d_j [t_{ij} \sum_{i=1}^m y_{ij} (1 - a_{ij})] \quad (1)$$

$$\text{Minimize Z2: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} y_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

$$\text{Minimize Z3: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} t_{ij} \quad (3)$$

$$\text{Maximize Z4 } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{S_{ij}}{n} \quad (4)$$

Subject to:

- For each selected supplier, the number of ordered components of products should be equal to or less than the supplier's capacity.

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} x_{ij} \leq \text{cap}_{ij} \quad \forall i \in I \text{ (set of suppliers)} \quad (5)$$

- Demand constraint :

$$\Pr(\sum_{i=1}^m y_{ij} \geq D_j) \geq \epsilon_d \quad \forall j \in J \quad (6)$$

For ease of computation, this constraint which includes the probabilistic statements can be replaced by the following linear function:

$$\sum_{i=1}^m y_{ij} \geq F^{-1}_{D_j}(\epsilon_d) \quad \forall j \in J$$

Where $F^{-1}_{D_j}$ is the inverse cumulative probability distribution function for random demand.

- $x_{ij} \in \{0,1\} \quad (7)$

- Y_{ij} , integer (8)

V. NUMERICAL SIMULATIONS

The purpose of this section is to solve the multi-objective problem described in the last section and to proceed to some numerical simulations. Many optimization techniques can be used to solve a multi-objective problem such as goal programming. However, the associated solution is known to be compromise and infeasible. Here, we adopt a method known under the name of aggregate function approach. The multi-objectives are combined in a single objective function using some weights.

Our purpose is to determine the optimal size of supplier portfolio and the allocation of consumer orders in order to optimize the total cost, the total percentage of poor quality of purchased components, the total lead time and to maximize the service level simultaneously. The computational examples are presented and the corresponding results are provided to show the changes in decision-makings when the parameters are adjusted. Some of the data required in the model are set as follows:

Assume that we have six suppliers and three products that we grade evaluating for suppliers. Weight of each of the goals is $b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = 0.25$. D_j is uniformly distributed over [100:400]. O_i is set to be integer and equal to 400 for each supplier i and C_i for each supplier i is given as:

$C_i = 2 \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{m}$ (Sawik 2011). q_i is uniformly distributed [0.005:0.02], P_{ij} , the unit purchase cost from supplier i for components of product j is integer which are generated from a uniform distribution over [30:40], d_j was equal to 10 for all product j and the pre-determined satisfaction level of probabilistic demand was equal to 0.5, 0.8, and 0.95

	j=1	j=2	J=3
i=1	t _{ij} =0.06, Q _{ij} =0.005, s _{ij} =0.80 a _{ij} =0.83	t _{ij} =0.04, Q _{ij} =0.001, s _{ij} =0.85, a _{ij} =0.80	t _{ij} =0.03, Q _{ij} =0.009, s _{ij} =0.75, a _{ij} =0.60
i=2	t _{ij} =0.05, Q _{ij} =0.010, s _{ij} =0.90, a _{ij} =0.85	t _{ij} =0.01, Q _{ij} =0.002, s _{ij} =0.80 a _{ij} =0.75	t _{ij} =0.03, Q _{ij} =0.003, s _{ij} =0.90 a _{ij} =0.90
i=3	t _{ij} =0.03, Q _{ij} =0.009, s _{ij} =0.95 a _{ij} =0.90	t _{ij} =0.04, Q _{ij} =0.04, s _{ij} =0.89 a _{ij} =0.69	t _{ij} =0.02, Q _{ij} =0.011, s _{ij} =0.70 a _{ij} =0.65
i=4	t _{ij} =0.02, Q _{ij} =0.002, s _{ij} =0.97 a _{ij} =0.95	t _{ij} =0.04, Q _{ij} =0.01, s _{ij} =0.97 a _{ij} =0.98	t _{ij} =0.05, Q _{ij} =0.015, s _{ij} =0.75 a _{ij} =0.82
i=5	t _{ij} =0.05, Q _{ij} =0.009, s _{ij} =0.88 a _{ij} =0.90	t _{ij} =0.025, Q _{ij} =0.007, s _{ij} =0.95 a _{ij} =0.90	t _{ij} =0.04, Q _{ij} =0.03, s _{ij} =0.90 a _{ij} =0.90
i=6	t _{ij} =0.06, Q _{ij} =0.008, s _{ij} =0.89 a _{ij} =0.79	t _{ij} =0.05, Q _{ij} =0.004, s _{ij} =0.65 a _{ij} =0.70	t _{ij} =0.02, Q _{ij} =0.003, s _{ij} =0.87 a _{ij} =0.74

Table 1: The values of t_{ij}, Q_{ij}, s_{ij}, and a_{ij} in numerical example

To select a competent supplier with order allocation, the weights of each goal is equal to 0.25. Table 2 shows the computational results for the allocation of customer demand. We assume that all consumer orders are allocated to two suppliers.

Table 2: supplier selection and order allocation

Demand	Supplier (Allocation)	
D ₁	S1(200)	S4(250)
D ₂	S1(200)	S5(500)
D ₃	S2(200)	S4(200)

In the following computational examples, sensitive analyses are conducted to identify the influence of the relative weights over the objectives on the final decisions. Different weights, which reflect the preference over different objectives, are established. Figure 1 reveals that the different weights of the given objectives also influence the final decision and that decision-makers who care more about the cost may establish greater weights for the total cost.

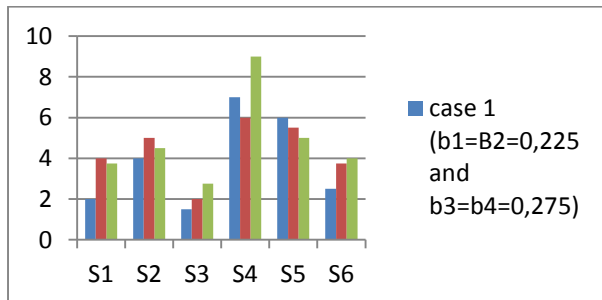


Figure 1: probability for the selected suppliers for different weights

Similarly, three different confidential levels of 0.5, 0.8, and 0.95 are established and the other parameters remain unchanged. Figure 2 reflects the probability of the selection of the suppliers for different confidence levels.

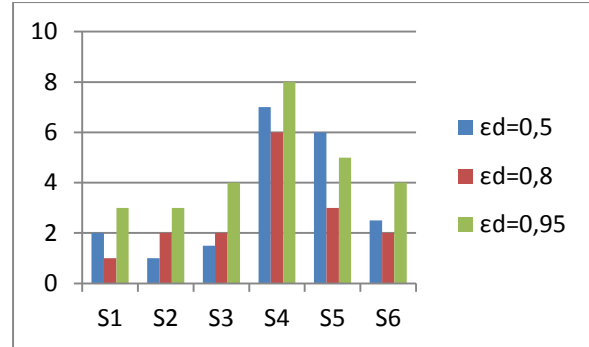


Figure 2: probability of the selected suppliers for different values of ϵ_d

VI. CONCLUSION:

In this paper, the multi-objective integer linear programming model for supplier selection problem is presented considering the purchase under stochastic demand with a uniform probability distribution. This supplier selection problem has multiple conflicting objectives such as total cost, quality, lead time, and service level subject to the constraints such as demand and capacity. The problem is stochastic in nature since demand is not deterministic rather stochastic or probabilistic in nature.

Many methods convert the original problem with multiple objectives into a single-objective optimization problem. This is called a scalarized problem. Based on computational examples and analyses, we observe that changing weights can contribute to variant supplier portfolios. However, some suppliers are more likely to be selected, thanks to their good performance in certain aspects. In this paper we sought a model that can recognize orders to suppliers, when buyer demand because of uncertainty in the real world face products, and that be able to reduce costs and increase product quality, profitability and customer satisfaction.

REFERENCES:

- [1] A; Azadeh and S-M. Alem, A flexible deterministic, stochastic and fuzzy data envelopment analysis approach for supply chain risk and vendor selection problem: Simulation analysis, Expert Systems with Applications 37 (2010), no. 12, 7438– 7448.
- [2] R. Aggarwal and SP Singh, Chance constraint-based multi-objective stochastic model for supplier selection, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 79 (2015), no. 9-12, 1707–1719.
- [3] R Ufuk Bilsel and A Ravindran, A multiobjective chance constrained programming model for supplier selection under

uncertainty, *Transportation Research Part B: Methodological* 45 (2011), no. 8, 1284–1300.

[4] T-M. Choi, Optimal apparel supplier selection with forecast updates under carbon emission taxation scheme, *Computers & Operations Research* 40 (2013), no. 11, 2646–2655.

[5] C. Guo and X. Li, A multi-echelon inventory system with supplier selection and order allocation under stochastic demand, *International Journal of Production Economics* 151 (2014), 37–47.

[6] M. C. Georgiadis, P. Tsiakis, P. Longinidis, and M-K Sofioglou, Optimal design of supply chain networks under uncertain transient demand variations, *Omega* 39 (2011), no. 3, 254–272.

[7] R. Hammami, C. Temponi, and Y. Frein, A scenario-based stochastic model for supplier selection in global context with multiple buyers, currency fluctuation uncertainties, and price discounts, *European Journal of Operational Research* 233 (2014), no. 1, 159–170.

[8] S-E. Kesen, Capacity-constrained supplier selection model with lost sales under stochastic demand behaviour, *Neural Computing and Applications* 24 (2014), no. 2, 347–356.

[9] C-Y. Lee and C-F. Chien, Stochastic programming for vendor portfolio selection and order allocation under delivery uncertainty, *OR spectrum* 36 (2014), no. 3, 761–797.

[10] K.S Moghaddam, Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty, *Expert Systems with Applications* 42 (2015), no. 15, 6237–6254.

[11] M-S. Markabi and M. Sabbagh, A hybrid method of grey relational analysis and data envelopment analysis for evaluating and selecting efficient suppliers plus a novel ranking method for grey numbers, *Journal of Industrial Engineering and Management* 7 (2014), no. 5, 1197.

[12] S-Nazari-Shirkouhi, H. Shakouri, B. Javadi, and A. Keramati, Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming, *Applied Mathematical Modelling* 37 (2013), no. 22, 9308–9323.

[13] T. Schoneberg, A. Koberstein, and L. Suhl, A stochastic programming approach to determine robust delivery profiles in area forwarding inbound logistics networks, *OR spectrum* 35 (2013), no. 4, 807–834.

[14] S. Talluri, R. Narasimhan, and A. Nair, Vendor performance with supply risk: A chance-constrained dea approach, *International Journal of Production Economics* 100 (2006), no. 2, 212–222.

[15] C. Weber and L-M. Ellram, Supplier selection using multi-objective programming: a decision support system approach, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 23 (1993), no. 2, 3–14.

[16] Burke GJ., Carrillo JE., Vakharia AJ. (2008), Heuristics for sourcing from multiple suppliers with alternative quantity discounts; *European Journal of Operational Research* 186; 317–329.

[17] Kara, S. S. (2011). Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment. *Expert Systems with Applications*, 38, 2133–2139.

[21] Abginehchi S., & Zanjirani Farahani R., (2010). "Modeling and analysis for determining optimal suppliers under stochastic lead times". *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 34, pp. 1311–1328.

[22] Lei Li and Zelda B Zabinsky, Incorporating uncertainty into a supplier selection problem, *International Journal of Production Economics* 134 (2011), no. 2, 344–356.

[23] Zhang, J.L., Zhang, M.Y., 2011. Supplier selection and purchase problem with fixed cost and constrained order quantities under stochastic demand. *International Journal of Production Economics* 129 (1), 1–7

Performance of Fuzzy Real-time System

Mohammed Blej *, **

* Laboratoire MATSI, UFR ANITS

** Centre Régional des Métiers de l'Enseignement et de
Formation, Oujda, Morocco
moblej@gmail.com

Mostafa Azizi *, ***

*** Ecole Supérieure de Technologie, Mohamed 1st
University, Oujda, Morocco
azizi.mos@gmail.com

Abstract— In this paper, we present the fuzzy logic approach to guarantee the performance of a real-time system. While the classical analysis of real-time systems tries to ensure that the instance of every tasks finishes before its absolute deadline (strict guarantee) and that the probabilistic approach tends to estimate the probability that it will happen, our approach based on fuzzy logic tries to improve the results of these two approaches. The guarantees of classical analysis are performed based on the control of inter arrival time; whereas the probabilistic approach has the advantage of a more efficient use of system resources by allowing to give a certain level of deadline guarantee to task sets that classical scheduling did not allow, and the fuzzy logic is more flexible than classical logic improves this performance.

Keywords—fuzzy real-time sytem; fzyzy logic; real-time task; fuzzy inference engine; fuzzy real-time scheduling

I. INTRODUCTION

Realtime systems are present and vital in very diverse fields such as avionics, process control, air traffic control system, space shuttle avionics, and mission critical computations [1]. In the literature, these systems have been defined as: “systems in which the correctness depends not only on the logical results of computation, but also on the time at which the results are delivered” [2]. Realtime activities are traditionally characterized by temporal constraints, called deadlines [3]. Each task is a stream of jobs; each one has a time of release, it is characterized by a computation time, and must finish before its absolute deadline. Realtime task is said to be hard, soft, or firm depending on the criticality of the consequence of a deadline miss.

For a hard task, no deadline miss accepted, since a single job of task finishes after its deadline could jeopardize the entire system [4]. A soft task tolerates jobs that finish after their deadlines, whereas a firm task can only tolerate some job failures. More precisely, a firm job must be finished before its deadline or does not executed at all. In other words, a soft job that misses its deadline can still do some useful work, while a firm job that misses its deadline is useless, though it does not jeopardize the system [5].

Because of their critical nature, hard real-time tasks must be guaranteed off-line; a hard task is accepted only if it is guaranteed that every job is executed before its deadline. For firm tasks, admission tests are usually online, a job is activated only if it is certain that it will end its execution before its deadline, otherwise it will be rejected.

A schedule is said to be feasible if all the tasks matched both their deadlines and any additional specified constraints [6]. Real-time scheduling can be classified in two categories, static [3] and dynamic [7]. A static real-time scheduling algorithm such as Rate Monotonic schedule all real-time tasks offline; this requires complete knowledge about tasks and system settings [8]. For dynamic scheduling, the feasibility of the algorithm is calculated online and tasks are invoked dynamically. These algorithms use dynamic parameters like deadline, latency and laxity [9,10,11].

However, the use of fuzzy logic to facilitate searching for a feasible schedule is motivated by several reasons.

First, in a dynamic hard real-time system, not all the characteristics of tasks (e.g., precedence constraints, resource allocations, etc.) are known a priori. For example, for aperiodic tasks, the arrival time for the next task is unknown. In particular, there is a wide uncertainty in hard real-time environment which will worsen scheduling problems (e.g. arbitrary arrival time, system load, and uncertain computation time). Second, in overload case, we must slow down the execution of tasks while ensuring that the most important tasks are run first, thus allowing an amount of flexibility in the scheduler under adverse conditions to determine which tasks are run and which are not.

The remaining of this paper is organized as follows. Section II describes scheduling algorithms, classic and fuzzy, and model tasks. Section III describes the fuzzy inference engine. In section IV, we describe the concept of Fuzzy Inference Engine with the difference between Mamdani and Sugeno types. Section V provides some concluding remarks.

II. SCHEDULING MODEL

A. Classical case

The scheduling in real time systems based on the use of the CPU time and other resources to execute all the tasks in question in order to meet the time constraints [2]. However, scheduling in real-time systems is more important than in classic systems [12, 13]. The real-time tasks must be performed correctly while respecting the deadline [14].

There are brief descriptions of the main scheduling algorithms:

FCFS algorithm (First-Come-First-Served) selects the task with the earliest arrival time [15]. The release time of periodic tasks in the system will be considered, but this algorithm

makes no efforts to consider task deadline, so it is not feasible for hard real time task.

Rate Monotonic (RM) algorithm assigns priority according to period; A task with a shorter period has a higher priority [3]. This algorithm is an optimal static-priority scheduling [16].

Earliest Deadline First (EDF) algorithm always chooses the task with the earliest deadline [17], a job with the earliest deadline is executed. Since it cannot consider priority and therefore cannot analyze it. This algorithm is optimal dynamic priority scheduling.

Least Laxity First (LLF) scheduling algorithm assigns higher priority to a task with the least laxity, and has been proved to be optimal for uniprocessor systems [2].

B. Fuzzy logic

After at least two decades since its elaboration, fuzzy logic was finally accepted as the basis for an emerging technology, ranging from consumer products, to industrial process control, to automotive applications [18]. It is so closer to human brain thinking compared to conventional logical systems. Fuzzy logic is a multi-valued logic. It deals with approximation rather than exactness. In contrast to classical sets (A classical set takes true or false values), fuzzy logic variables (also known as linguistic variables) can have a truth value that ranges into an floating interval between 0 (completely true) and 1 (completely false) [19]. The linguistic variable degree may be determined with a specific method [20].

Nowadays, fuzzy logic is largely used in real world issues, and it is also a research interest of a great number of researchers. It has been shown to be a strong methodology of design and analysis in control theory, enabling the implementation of advanced knowledge-based control methods for complex dynamic systems like those rising applications for systems and artificial biology [19].

Hiwarkar et al gave a large list of use cases of fuzzy logic in [20]. K.A. Verma et al discussed Type 1 fuzzy systems and the origin of type 2 fuzzy logic systems [21] and its application in the field of engineering, finance and medicine. Xia Feng et al designed a schedule for control of embedded systems based on fuzzy logic [22]. A priority scheduler has been developed for mobile by C. Gomathy et al in [23].

III. FUZZY INFERENCE ENGINE

Fuzzy Inference Systems are conceptually very simple. They consist of an input, a processing, and an output stage [32]. The input stage receives inputs like deadline, execution time, laxity and so on, and maps these to appropriate membership functions and truth values. In the processing stage, each specific rule is invoked and the corresponding result is generated. Then results are combined so that it will be given as an input to the output stage. In output stage, the combined result is converted back into a specific value [33]. The membership function of a fuzzy set is a generalization of the indicator function in classical sets. In fuzzy logic, it represents the degree of truth as an extension of valuation. It can be expressed in the form of a curve that defines how each point in the input space is mapped to a membership value (or

degree of membership) between 0 and 1. It can also have many forms (triangular, trapezoidal and Bell curves) [33].

The processing stage also called inference engine is based on a set of logical rules in the form of IF-THEN statements. An example of fuzzy IF-THEN rules is: **IF Speed is "Low" AND Race is "Dry" THEN Braking is "Soft"**, Where the IF part is called the "antecedent" and the THEN part is called the "consequent". The terms Speed, Race and Braking are linguistic variables, and Low, Dry and Soft are linguistic terms. Each linguistic term corresponds to a value of the membership function. Typically, Fuzzy Inference Systems have dozens of rules [32]. The inference engine processes the inputs and generates outputs based on the rules already defined. There are five steps in the fuzzy inference:

- Fuzzify inputs,
- Apply the fuzzy operator,
- Apply the implication method,
- Aggregate all outputs,
- Defuzzify outputs.

Below is a brief overview of these five steps. The first step is to take the inputs and determine the degree to which they belong to each of the appropriate fuzzy sets via membership functions. Fuzzification of the input amounts to either a table lookup or a function evaluation. After fuzzifying the inputs, we know then the degree to which each part of the antecedent has been fulfilled for each rule. So if the antecedent of a given rule has more than one part, the fuzzy operator is applied to obtain one number that represents the result of the antecedent for that rule. This number will then be applied to the output function. The number of inputs to the fuzzy operator is two or more membership values from fuzzified input variables. Whereas the output is a single truth value.

The output fuzzy set has been modified by the implication function to the degree specified by the antecedent. Since decisions are based on the testing of all of the rules in the Fuzzy Inference Subsystem (FIS), the results from each rule must be combined in order to generate the final decision. Aggregation is the process by which the fuzzy sets that represent the outputs of each rule are combined into a single fuzzy set. It occurs only once for each output variable, just prior to the fifth and final step, defuzzification. The input for the defuzzification process is an aggregate output fuzzy set, and the output is a single number [33, 24].

At runtime, based on the parameter of tasks, the fuzzy scheduler selects the task with the highest priority that is ready for execution. Several parameters determine the priority of tasks: task deadline, task criticality, task execution time, laxity. The task deadline is the time before the task should be completed. The task criticality relates to the consequences of missing a deadline. The worst case execution time of task is his execution time. Laxity is the time that separates the task deadline and the worst case execution time of task. These parameters constitute the linguistic variables and then fuzzified. Fuzzy rules are then applied to the linguistic

variables to compute the service value. The linguistic values for the chosen parameters are defined.

There are two common inference methods [33]: Mamdani's fuzzy inference method proposed in 1975 by Ebrahim Mamdani [34] and Takagi-Sugeno-Kang, method of fuzzy inference introduced in 1985 [35].

The main difference between Mamdani-type FIS and Sugeno-type FIS resides in the way the crisp output is generated from the fuzzy inputs. While Mamdani-type FIS uses the technique of defuzzification of a fuzzy output, Sugeno-type FIS uses weighted average to compute the crisp output [36], so the Sugeno's output membership functions are either linear or constant but Mamdani's inference expects the output membership functions to be fuzzy sets. Furthermore, Sugeno method has better processing time since the weighted average replace the time consuming defuzzification process.

IV. PERFORMANCE FOR REAL-TIME TASKS

A. Probabilistic performance for real-time tasks

As mentioned above, the performances of real-time systems are analyzed not only from the point of view of their correctness, but also from the perspective of time. The timing analysis of such systems has been extensively studied by considering deterministic approaches based on worst-case scenarios. As determinism is not the case for many real-time systems, the statistical and probabilistic approaches are presented as an alternative for the classic method. Different terms are used in this topic, stochastic analyses [37], probabilistic analyses [38], and statistical analysis [39]. They have the common point of considering at least one parameter defined by a random variable.

So, while traditional real-time system analysis tends to guarantee that each task instance will complete its execution before its absolute deadline (hard guarantee), probabilistic approach permits to estimate the probability that it will happen. This approach has the advantage of more efficient usage of system resources, allowing giving a certain level of deadline guarantee to task sets that the classical schedulability analysis would reject [40]. We present some work on improving guarantees for real-time tasks:

In [40], Luca.A et al presented a new method for analysing soft real-time systems through probabilistic deadlines, when a reservation-based scheduler is used. They show that the proposed approach is faster, and is robust against uncertainties in the execution times distribution.

In them paper, Aysan.H et al [41] have presented a method to allow system designers to specify task level reliability requirements and provide a priori probabilistic scheduling guarantees for real-time tasks with mixed-criticality levels in preemptive fixed priority scheduling.

In [42], Luca.S et al provide a complete overview of the probabilistic component-based approach to real-time systems. They propose a new model unifying probabilistic scheduling techniques and compositional guarantees.

Cristian. M et al presented in [43] a work based on the utilization of the Weibull distribution, one of the three distributions of the Extreme Value Theory. They tried to obtain the probabilistic minimal inter-arrival time of a task.

As a conclusion to this subsection, we note that works, trying to increase the guarantee levels, are based on theories of probability and statistics. Compared to the traditional approach, the results are significantly improved.

In what follows, we present the approach of fuzzy logic to improve real-time system performance.

B. Fuzzy logic performance for real-time tasks

The main conventional algorithms are based on binary logic; the new versions of these algorithms are introduced based on fuzzy logic. This logic is used in different conventional algorithms in the case of the highest-priority task, giving birth to fuzzy versions of these algorithms.

In the literature, most of the work is about soft realtime systems. In what follows, we quote the most famous results:

M.Sabeghi et al introduced a fuzzy algorithm for scheduling periodic tasks on multiprocessor soft realtime systems [36]. It was shown that using deadline as a fuzzy parameter in multiprocessor realtime scheduling is more promising than laxity. They resumes the same topics in [37].

P. Vijaya kumar et al presented a fuzzy EDF algorithm for soft realtime systems [38], they used laxity and deadline as fuzzy parameters. Fuzzy inference rules include 15 fuzzy inference rules. The Miss deadline ratio of the tasks will be reduced compared to the traditional EDF algorithm.

V. Salmani et al proposed a new fuzzy-based algorithm for scheduling realtime tasks on uniform parallel machines in [39]. It is shown that the proposed approach ensured a performance close to that of EDF in non-overloaded conditions and it has supremacy over EDF in overloaded situations in many aspects.

In [40], Hamzeh et al proposed a new fuzzy scheduler. They use laxity, CPU time and deadline as a fuzzy parameter this scheduler has low complexity due to the simplicity of fuzzy inference engine.

Sheo Das et al have described the use of fuzzy logic to multiprocessor realtime scheduling [41]. They have showed that using deadline as a fuzzy parameter in multiprocessor realtime scheduling is more promising than laxity, and that this model is efficient when the system has heterogeneous tasks with different constraints.

For embedded systems, T. Springer et al [42] presented a new scheduling approach for realtime tasks in an embedded system. The results are a demonstrated reduction in deadline misses for all tasks during periods of overload as compared to traditional fixed priority based scheduling mechanisms.

In the case of hard realtime systems, publications on fuzzy logic are scarce. Very early John Yen et al introduced a Designing of a Fuzzy Scheduler for Hard Realtime Systems [43]. They worked on the scheduling problem as a search problem, using a set of fuzzy rules to guide the search for a

feasible schedule, and the scheduler is triggered by a newly arrival task.

In conclusion, most papers dealt with soft realtime systems, but not enough for hard realtime systems. Fuzzy versions of different conventional algorithms are given and showed that they are more promising than conventional ones. The choice of fuzzy parameters and the comparison of different results are studied in special cases, and research over the generalization is an open work.

C. Application

As mentioned above, the purpose of the fuzzy scheduler is to elect the most priority task, this by using the parameters of the real-time task. These parameters which constitute the linguistics variables not all necessarily used. Usually, the factors considered to determine the scheduling are task priority, deadline, required computation time, used CPU time, and the notion of laxity. The inputs of these parameters are represented as linguistic variables and fuzzy rules are then applied to those linguistic variables to compute the level value for deciding which task to select to schedule next. The number of rules and membership functions directly affects system accuracy while performance of the system increases with rule size decrease.

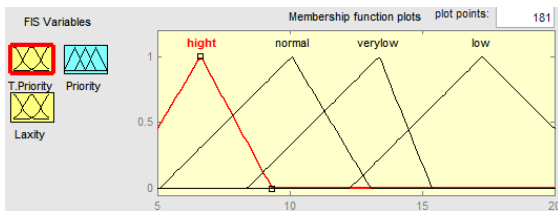


Figure 1. Fuzzy Set Corresponding to input Priority

A task’s priority shows the importance of the task, the notion of laxity is used in the proposed approach to facilitate the computation. Laxity is the maximum time that a task can wait before being executed. The inputs of these parameters are justified. In our application , we choose task priority and laxity as inputs parameters.

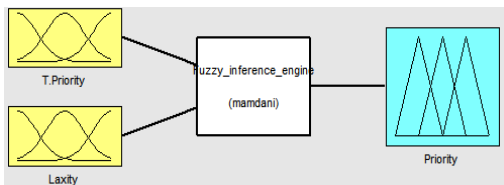


Figure 2. Inference system block diagram

We considered 4 triangular membership functions for task’s priority. “High”, “Normal”, “Low” and “Very low” are these membership functions. Laxity membership function considered 3 and also triangular. “Critical”, “Medium” and “sufficient” are the name of these functions. Fuzzy rules try to

combine these parameters as they are connected in real worlds. Some of these rules are mentioned here:

- If (T.Priority is “High”) and (Laxity is “Critical”), then (Priority is “Very high”).
- If (T.Priority is “High”) and (Laxity is “Medium”), then (Priority is “high”).
- If (T.Priority is “High”) and (Laxity is “sufficient”), then (Priority is “Medium”).

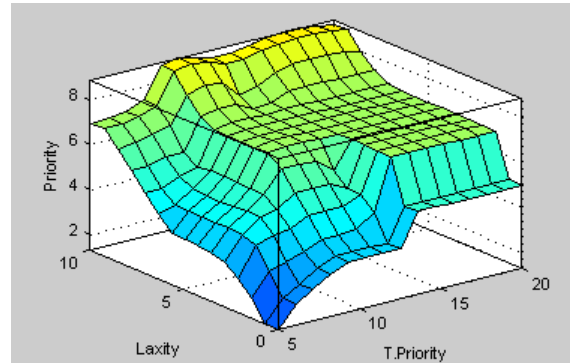


Figure 3. The decision surface Corresponding to Inference rules.

The notions of priority and laxity that were used as strict and isolated value in the classic cases are used in the fuzzy approach as fuzzy values. They are based on the approximation instead of the accuracy. The task’s value is not a single value, but a fractional value, more detailed, more transparent. This allows the scheduler more freedom to elect the task to be executed.

V. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this paper, we tried to present a survey on performance in fuzzy logic and real-time systems. For scheduling, fuzzy logic is used in the different conventional algorithms in the choice of the highest-priority task, giving birth to fuzzy versions of these algorithms. It shows that the fuzzy ones are more promising than conventional ones. The choice of parameters and numbers of rules in fuzzy inference engine influences directly generated outputs. Being based on Mamdani or Sugeno, Fuzzy Inference Systems are still on-going research areas; the comparison between them is made in different real cases and all the results affirmed that the Sugeno method is better than the Mamdani method, but proving it in the general case is not yet done. Our future work is to discuss the impact of each task parameters, as linguistic variables, in the choice of the most priority task.

References

[1] Sha, L. a. (April 1990). Real-Time Scheduling Theory and Ada, IEEE Computer, Vol. 23, No. 4, pp. 53-62.

[2] Ramamnitham K., s. J. (January 1994). Scheduling algorithms and operating systems. Proceedings of IEEE, vol 82 , n1, pp 55-67.

- [3] Layland, C. L. (1973) Scheduling algorithms for multiprogramming systems. *Journal of the ACM*, 20(1).
- [4] J. Lee, A. T. (1994). "A fuzzy rule-based approach to real-time scheduling," in Proc. 3rd IEEE Conf. Fuzzy Systems, IEEE World Congress Computational Intelligence, FL, pp. 1394-1399 vol.2.
- [5] Haibin, W. L. (2003). Research on a soft real-time scheduling algorithm based on hybrid adaptive control architecture. Proc. American Control Conf, Lisbon, Portugal, pp. 4022-4027 vol.5.
- [6] T. F. Abdelzaher and K. G. Shin. (Sep 1997). "Comment on a pre-run-time scheduling algorithm for hard real-time systems". *IEEE Trans Software Engineering*, vol. 23, pp. 599-600.
- [7] K. Ramamritham and J. A. Stankovic. (July 1984). "Dynamic task scheduling in hard real-time distributed systems". *EEE Softw. vol. 1*, pp. 65-75.
- [8] P. A. Laplante. (Dec 2004). "The certainty of uncertainty in real-time systems". *IEEE Instrum. Meas. Mag vol. 7*, pp. 44-50.
- [9] Kreuzinger, A. S. (2000) "Real-time scheduling on multithreaded". Proc. 7th Intl. Conf. Real-Time Computing Systems, Cheju Island, South Korea, pp. 155-159.
- [10] Z. Deng, J. W. (1996). "Dynamic scheduling of hard realtime applications in open system environment". Tech. Rep, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [11] G. Buttazzo and J. A. Stankovic. (1993). "RED: robust earliest deadline scheduling". Proc. 3rd Intl. Workshop Responsive Computing, Lincoln, NH, pp. 100-111.
- [12] F. Gruian. (2002). "Energy-centric scheduling for real-time systems". Department of Computer Science. Ph.D dissertation: Lund University, p. 164.
- [13] W. Lifeng and Y. Haibin. (2003). "Research on a soft real-time scheduling algorithm based on hybrid adaptive control architecture", in Proc American Control Conf, Lisbon, Portugal, pp. 4022-4027 vol.5.
- [14] M. Silly-Chetto. (Apr 1999). "Dynamic acceptance of aperiodic tasks with periodic tasks under resource sharing constraints". *IEEE Proc. Software*, vol. 146, pp. 120-127.
- [15] A. S. Tanenbaum. (1994). *Distributed operating systems*: Prentice Hall.
- [16] Yoshifumi Manabe, S. A. (1995). A Feasibility Decision Algorithm for Rate Monotonic Scheduling of Periodic Real-Time Tasks . NTT Basic Research Laboratories. Atsugi-shi, Kanagawa 243-01 Japan .
- [17] N. D. Thai. (2002). "Real-time scheduling in distributed systems". Proc.Intl. Conf. Parallel Computing in Electrical Engineering, Warsaw, Poland., pp. 165- 170.
- [18] J. Yen and R. Langari. (2004). *Fuzzy Logic*. Pearson Education.
- [19] Rajani Kumari, V. K. (September 2013). Design and Implementation of Modified Fuzzy based CPU Scheduling Algorithm. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, Volume 77 – No.17.
- [20] Hiwarkar, T. A. (2013). "New Applications of Soft Computing, Artificial Intelligence, Fuzzy Logic & Genetic Algorithm in Bioinformatics".
- [21] Varma, K. A. (2013). Applications of type-2 fuzzy logic in power systems: A literature survey. *Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 12th International Conference on. IEEE, 2013.
- [22] Xia, F. e. (2005). "Fuzzy logic based feedback scheduler for embedded control systems". *Advances in Intelligent Computing*. Springer Berlin Heidelberg, 453-462.
- [23] Gomathy, C. a. (2004). "An efficient fuzzy based priority scheduler for mobile and hoc networks and performance analysis for various mobility models". *Wireless Communications and Networking Conference, WCNC. 2004 IEEE. Vol. 2. IEEE, 2004.*
- [24] Wang Lie-Xin. (1996). *A course in fuzzy systems and control*, Prentice Hall, Paperback.
- [25] Mamdani E.H., A. S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-13.
- [26] Sugeno, M. (1985). *Industrial applications of fuzzy control*, Elsevier Science Inc, New York, NY.
- [27] Zadeh, L. (Jan.1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 3, No. 1, pp. 28-44,
- [28] A.Hamam and N. D. Georganas (2008). A comparison of Mamdani and Sugeno fuzzy inference systems, *IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications*, Ottawa, Canada , pp. 18-19. Soc. London, vol. A247, pp. 529-551, April 1955.
- [29] J. L. D'iaz, D. F. Garcia, K. Kim, C.-G. Lee, L. Lo Bello, J. M. Lopez, S. L. Min, and O. Mirabella (RTSS 2002), "Stochastic analysis of periodic real-time systems," in *Proceedings of the 23rd IEEE Real-Time Systems Symposium*, p. 289.
- [30] T. Tia, Z. Z. Deng, M. Shankar, M. Storch, J. Sun, L. Wu, and J. Liu, (ETFA 1995), "Probabilistic performance guarantee for real-time tasks with varying computation times." in *IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium* .
- [31] L. Cucu-Grosjean, L. Santinelli, M. Houston, C. Lo, T. Vardanega, L. Kosmidis, J. Abella, E. Mezzeti, Q. E., and F. Cazorla, (ECRTS12), 2012, "Measurement-based probabilistic timing analysis for multi-path programs," in the 24th Euromicro Conference on Real-Time Systems .
- [32] Luca Abeni and Giorgio Buttazzo, (1999), QoS Guarantee Using Probabilistic Deadlines. *Proceedings of the IEEE Euromicro Conference on Real-Time Systems*, York, UK.
- [33] Aysan, H., Radu, D. and Sasikumar, P. (2013), Task-Level Probabilistic Scheduling Guarantees for Dependable Real-Time Systems - A Designer Centric Approach. Publication of Malardalen Real-Time Research Centre, Malardalen University Vasteras, Sweden.
- [34] Luca Santinelli, Liliana Cucu-Grosjean, (2012), A Probabilistic Calculus for Probabilistic Real-Time Systems. *RTAS12 Special Issue*.
- [35] Cristian, M., Adriana, G., Dorin, M. and Liliana, C. (2013), Estimation of Probabilistic Minimum Inter-arrival Times Using Extreme Value Theory, hal-00766063, version 1 - 24 Jan 2013.
- [36] Mojtaba Sabeghi, a. M. (2006). A Fuzzy Algorithm for Real-Time Scheduling of Soft Periodic Tasks. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.6 No.2A.
- [37] P. Vijayakumar, P. (2010). Fuzzy EDF Algorithm for Soft Real Time Systems. *International Journal of Computer Communication and Information System Vol.2. No1. ISSN: 0976-1349*.
- [38] V. Salmani, R. N. (2007). A Fuzzy-based Multi-criteria Scheduler for Uniform Multiprocessor Real-time Systems. *10th International Conference on Information Technology*, 0-7695-3068-0/ 2007 IEEE.
- [39] M. Hamzeh, S. M. (2007). Soft Real-Time Fuzzy Task Scheduling for Multiprocessor Systems. *International Journal of Intelligent Technology*, Vo 2 No 4 2007 ISSN 1305-6417.
- [40] Sheo Das, P. G. (2012). A Fuzzy Approach Scheduling on More Than One Processor System in Real Time Environment. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, Volume 1 Issue 5 pp 289-293.
- [41] Tom Springer, S. P. (2015). *Fuzzy Logic Based Adaptive Hierarchical Scheduling for Periodic Real-Time Tasks*. Springer, EWiLi'15, October 8th, 2015, Amsterdam, The Netherlands.
- [42] John Yen, J. L. (1993). *Designing a Fuzzy Scheduler for Hard Real-Time Systems*. Department of Computer Science Texas A&M University, College Station, TX 77843.
- [43] H. Deldari, M. a. (2006). A Fuzzy Algorithm for Scheduling Periodic Tasks on Multiprocessor. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.6 No.3A.

L'intégration d'une nouvelle technologie de réseau de capteurs intelligents pour la télésurveillance d'un système de production

Soukaina Sadiki

Laboratoire de productique Energies et Développement Durable,
École Supérieure de Technologie de Fès,
Soukainasadiki759@gmail.com

Mohamed Ramadany, Said Boutahari, Driss Amegouz,
Laboratoire de productique Energies et Développement
Durable,
École Supérieure de Technologie de Fès,
mramadany@ gmail.com
boutahari@yahoo.fr
amegouz@yahoo.fr

Résumé — les usines modernes d'aujourd'hui exigent que les systèmes de production soient surveillés en permanence, et en temps réel, afin de garantir la fiabilité, la sécurité des processus de fabrication, la qualité des produits finis, ainsi que la sûreté de fonctionnement. L'intégration de capteurs intelligents dans les systèmes de production, permet d'exécuter des tâches très spécifiques, comme le fait de communiquer rapidement et à distance, des informations pertinentes concernant des phénomènes détectés sur ces systèmes. Ceci représente un intérêt majeur pour la prise de décision en matière d'actions de la maintenance à entreprendre par un responsable de la maintenance.

Cet article est consacré dans un premier temps à la présentation de l'état d'art de l'application des réseaux de capteurs, et dans un second temps, à la démarche pour l'intégration de tels réseaux dans un système de télésurveillance. Finalement, nous allons présenter une étude comparative entre le réseau de capteurs classiques et celui de capteurs intelligents, afin de mettre le point sur les opportunités de maintenance prévisionnelle grâce à cette intégration.

Mots clefs — *intégration, capteurs intelligents, système de télésurveillance, maintenance prévisionnelle.*

I. INTRODUCTION

Durant cette dernière décennie, une architecture nouvelle a vu le jour: les réseaux de capteurs sans fil. Ce type de réseaux résulte d'une fusion de deux pôles de l'informatique moderne : les systèmes embarqués et les communications sans fil.

Ces derniers ont connu un succès sans cesse croissant dans plusieurs domaines [1], ainsi ils peuvent s'instaurer comme acteur incontournable dans les entreprises industrielles pour la télésurveillance des systèmes de production grâce à leur facilité du déploiement, acquisition de l'information et le coût réduit d'installation. Ces avantages présentés de cette nouvelle technologie permettent de tirer profit à des besoins prioritaires du service maintenance qui sont:

- Un besoin de disponibilité maximale des équipements de production
- Une minimisation de leurs coûts.

Ces deux exigences présentent un défi majeur pour les responsables maintenance qui cherchent toujours à réaliser un compromis entre le niveau de fiabilité des équipements de production et les coûts de maintenance. D'où le choix d'une politique adaptée qui anticipe les défaillances de fonctionnement [2] grâce à la surveillance de l'état des équipements, la collecte et la mise à disposition en temps réel d'un ensemble de paramètres pertinents, tout cela permettent une disponibilité maximales des équipements de production et facilitent la prise de décision pour l'équipe de la maintenance.

La mise en œuvre de la maintenance provisionnelle et surtout l'utilisation de la nouvelle technologie des réseaux de capteurs sans fils pour la télésurveillance d'un système de production est rarement couverte dans la littérature. Pour ceci nos contributions dans ce travail seront la mise en œuvre d'une démarche de la télésurveillance qui permet la résolution d'un problème d'optimisation de la maintenance prévisionnelle, en tenant compte des nouvelles technologies des réseaux des capteurs intelligents qui permettent de dépasser les limites de la télésurveillance avec les capteurs classiques, sera une piste intéressante pour appliquer aux systèmes de production. Cet article présente en premier lieu la présentation de l'état d'art de la télésurveillance avec l'intégration des réseaux de capteurs intelligents, et dans un second temps, nous allons faire une étude comparative entre le réseau de capteurs classiques et celui de capteurs intelligents, finalement, nous allons mettre le point sur la démarche d'intégration de la télésurveillance des équipements de production à l'aide des réseaux de capteurs intelligents, appliquée à une politique de maintenance prévisionnelle.

II. GENERALITE SUR LA TECHNOLOGIE DES RESEAUX DES CAPTEURS SANS FILS

A. Définition d'un capteur intelligent

Les capteurs intelligents "Smart Sensors" sont des dispositifs capables de générer des données relatives à leur environnement physique, dans lesquels coexistent les capteurs et les circuits de traitement et de communication. Ces derniers sont des "capteurs d'informations" et non pas simplement des capteurs et des circuits de traitement du signal juxtaposés. De plus, ces capteurs ne sont pas des dispositifs banalisés car chacun de leurs constituants a été conçu dans l'objectif d'une application bien spécifique.

B. Fonctionnement d'un réseau de capteurs sans fils

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) ou "Wireless Sensor Network" (WSN), est un type spécial réseaux ad hoc avec un grand nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de recevoir et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome sans intervention humaine. Ces derniers sont composés d'un ensemble d'unités de traitements embarquées, appelées "motes", voir figure 1.

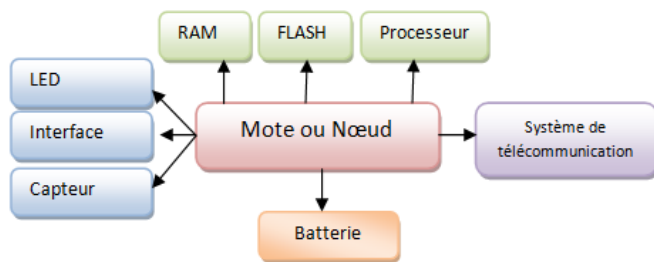


Figure1: architecture d'un MOTE

Un RCSF est composé d'un ensemble de nœuds capteurs. Ces derniers capteurs sont organisés en champs « champs de captage ». Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter des données et de les transférer au nœud capteur. Ce nœud est composé principalement d'un processeur, une mémoire, un émetteur/récepteur, un ensemble de capteurs, et une pile par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le puits transmet ensuite ces données par un protocole de communication sans fils (Bluetooth / IEEE 802.15.4, ZigBee...) vers un pc, tablette... «Gestionnaire de taches» pour analyser ces données et prendre des décisions [3].

Cette nouvelle technologie des réseaux de capteurs sans fils intègre trois unités principales

- Unité de captage : chargée de capter des grandeurs physiques (chaleur, humidité, vibrations, rayonnement...) et de les transformer en grandeurs numériques.
- Unité de traitement informatique: Calculer des informations à l'aide de ces valeurs collectées et stocker les données.
- Unité de transmission sans fil : communiquer à travers un réseau de capteurs.

III. ETAT D'ART DES DOMAINES D'UTILISATION DES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FILS

Les nœuds capteurs peuvent être utilisés pour la surveillance permanente ou discontinue d'un phénomène, la détection et l'identification d'un événement, ou la surveillance d'un terrain et le contrôle local d'objets déclencheurs d'événements (actionneurs).

En effet, le nouveau concept de micro-capteurs connectés via un support sans fil promet la réalisation de plusieurs types d'applications. Ces dernières peuvent être subdivisées en plusieurs domaines, on trouve notamment les applications militaires de tracking, le monitoring d'habitat, la surveillance médicale ainsi que l'agriculture de précision.

Les réseaux de capteurs sont capables d'apporter des bénéfices considérables au domaine d'agriculture[4], intéressées à mettre en place un réseau de capteurs pour l'irrigation intelligente qui a pour but la surveillance de l'environnement pour détection des zones sèches et les irriguer. Ainsi ces capteurs intelligents utilisés pour surveiller la qualité de l'eau potable dans un réseau de distribution en vue de la détection d'intrusion[5], de pesticides dans l'eau potable le degré d'érosion du sol, et le niveau de pollution de l'air en temps réel.

Dans le domaine de la télésurveillance médicale à domicile est fondamentale pour l'amélioration de la qualité de soins et de vie des personnes nécessitant des soins ou une attention particulière. [6] Elle vise à mettre en place dans l'habitat d'une personne un dispositif qui permet de capturer des informations sur son état de santé, afin de rendre possible pour le praticien un diagnostic, voire une aide au patient à distance. [7] Le suivi des activités de vie des personnes âgées fragiles à domicile pour maintenir la sécurité de leur vie

Le Suivi et la surveillance des médecins et des patients au sein de l'hôpital [8]. Chaque patient aura des petits nœuds capteurs légers qui lui sont attachés, où chacun de ces nœuds aura sa tâche spécifique, par exemple, l'un des capteurs peut être employé pour détecter les battements de cœur et un autre pour la pression du sang, etc.,... Les médecins aussi, peuvent porter des capteurs permettant à d'autres médecins de les localiser.

Dans le domaine de la sûreté de fonctionnement [9] présentent un dispositif embarqué sur un disjoncteur moyenne tension MT qui permet de surveiller les conditions de son fonctionnement, et proposons un schéma d'organisation du transfert et du traitement des données, en utilisant les techniques et technologies de l'intelligence artificielle.

Ceci dit, Les RCSF sont utilisés dans plusieurs domaines, de même ils ont su attirer un nombre croissant d'industriels, vu leur réalisme et leur apport concret, pour le besoin d'un suivi continu des processus industriels, pour cela nous proposons l'intégration de ces nouvelles technologies pour suivre les pannes provoquées par les systèmes de production.

IV. ETUDE COMPARATIVE ENTRE CAPTEURS CLASSIQUES ET CAPTEURS INTELLIGENTS

A. Capteur classique

Un capteur classique est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique à une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.

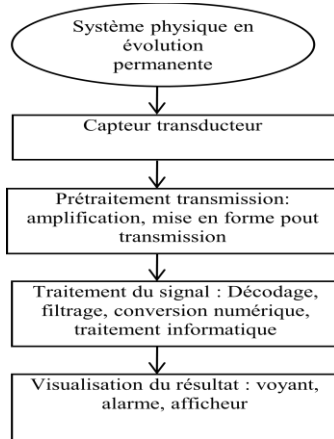


Figure 2: les fonctions d'un capteur classique

B. Capteur intelligent

Un système composé de plusieurs sous-systèmes dont les fonctions sont clairement distinctes dont les principaux sont :

- un ou plusieurs capteurs
- les conditionneurs associés
- organe de calcul interne
- interface de communication

- *Analyse fonctionnelle du capteur intelligent*

Les nouvelles technologies et en particulier l'utilisation du numérique ont rendu disponibles des fonctionnalités innovantes au sein des capteurs comme l'acquisition des données et leur traitement interne et autonome. L'utilisation du numérique a également permis d'intégrer de nouvelles fonctionnalités comme la correction des erreurs de mesure, l'auto-ajustage, l'autodiagnostic, la reconfiguration dynamique et la communication en réseaux. Ces cinq capacités jouent, directement ou indirectement, un rôle dans les fonctions génériques d'un capteur intelligent qui sont: mesurer, configurer, valider et communiquer.

Afin de définir toutes les fonctions constructives de notre système de télésurveillance, à partir des fonctions de services que doit remplir le système, nous avons élaboré un diagramme FAST (Functional Analysis System Technic), ce dernier permettra d'éclaircir les choix techniques de notre système de télésurveillance grâce à l'établissement des fonctions techniques de métrologie à l'aide de RCSF, maintenance et télécommunication (figure3).

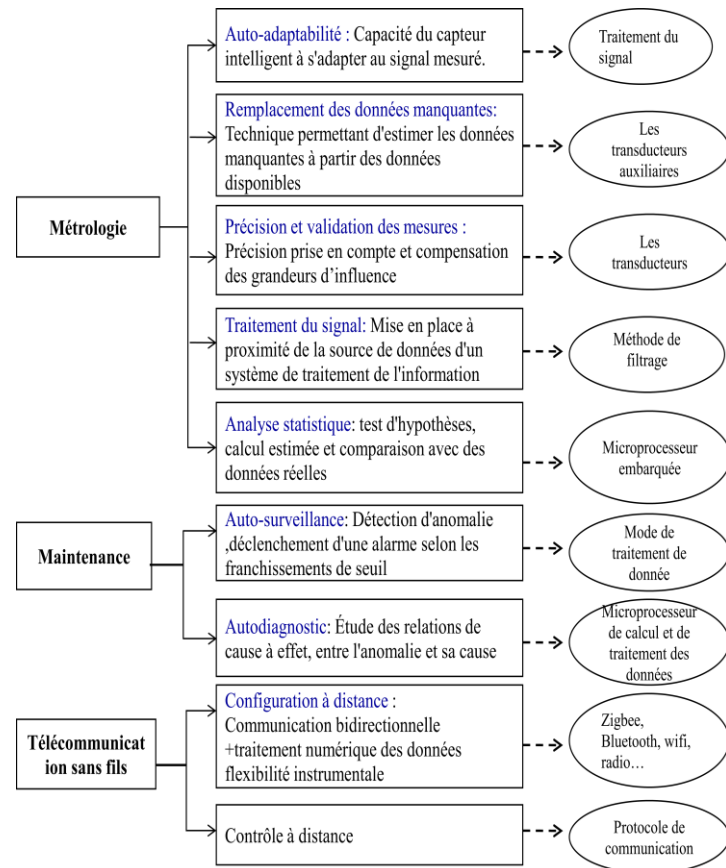


Figure 3: Diagramme FAST d'un réseau de capteur intelligent pour la télésurveillance.

C. Différence fonctionnelle entre capteur classique et capteur intelligent

Ce nouveau type de réseaux des capteurs intelligents présentent une grande amélioration comparée aux capteurs classiques qui sont généralement déployés suivant deux méthodes :

- Les capteurs sont positionnés loin du phénomène surveillé, dans ce cas des dispositifs utilisant des approches complexes sont nécessaires pour distinguer les données captées du bruit environnemental.
- Plusieurs capteurs sont déployés au tour du champ de surveillance. A ce moment, la position des capteurs et la topologie de leur communication doit être soigneusement conçu au préalable. Ces capteurs transmettent régulièrement les données au nœud central où les traitements sont accomplis et les données sont fusionnées.

De même le capteur intelligent se diffère de capteur classique par deux fonctions, ces derniers sont: le calcul interne des informations des valeurs collecté et stockés à l'aide de l'unité de traitement informatique et l'unité de transmission sans fil qui communiquent à travers un réseau de capteurs. En contrepartie le capteur classique se suffit que des fonctions suivantes: Convertir, enregistrer et afficher les mesures.

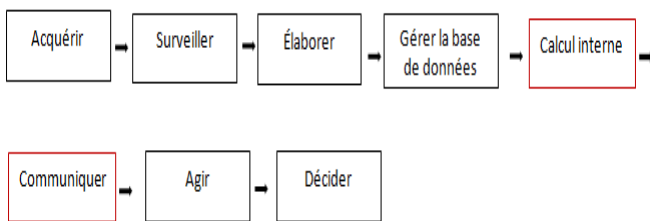


Figure 4: Les actions menées dans un capteur intelligent

V. CONTRIBUTION A L'INTEGRATION DE RESEAU DE CAPTEURS INTELLIGENTS DANS UN SYSTEME DE TELESURVEILLANCE POUR LA MAINTENANCE PREVISIONNELLE

L'optimisation des stratégies de maintenance a fait l'objet de multiples développements au cours des dernières décennies, au niveau d'optimisation des stratégies de maintenance, la majorité des recherches se sont focalisées sur la maintenance préventive systématique et l'optimisation des coûts par la recherche de la fréquence du temps des interventions préventives [10] [11]. Mais le rythme effréné des innovations technologiques dans la production industrielle et la généralisation de l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de communication imposent d'émerger vers des nouvelles approches proactives, comme la maintenance prévisionnelle qui a pour objectif d'agir sur l'élément défaillant au plus près de sa période de dysfonctionnement. La prise en compte de cette dynamique de la maintenance opportuniste [12] requiert, au minimum, de surveiller le système et son environnement afin de réagir, en cas d'apparition de dégradations, voire d'anticiper ces aléas pour éviter d'en subir les conséquences.

1. la maintenance prévisionnelle

La maintenance prévisionnelle est, selon la norme NF EN 13306 X 60-319, une « maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien », aussi appelée « maintenance prédictive », ou encore « maintenance anticipée » est basée sur le franchissement d'un seuil prédéfini qui permet de donner l'état de dégradation du bien avant sa détérioration complète. Toutes ces actions permettent donc de réduire la fréquence des pannes tout en optimisant la fréquence des interventions préventives. Ce type de maintenance a la particularité d'être facile à suivre mais est plus complexe à mettre en place parce qu'il demande d'implanter des appareils et des moyennes technologiques pour la surveillance des équipements de production. Pour cela la mise en œuvre de la maintenance prévisionnelle dans un équipement de production nécessitent en première étapes de réaliser un cahier de charge qui prend en compte les conditions suivantes:

-L'équipement présente une dégradation progressive et détectable et non pour les systèmes non réparables qui ont une durée de vie connue,

-Définition des paramètres dégradables de mesure,

-Fixation des paramètres de franchissement du seuil, la limite fixée correspond bien à un seuil significatif pour la perte ou la dégradation de la fonction de l'équipement (ou sa dangerosité),

-L'appareillage qui permet cette mesure est fiable et les résultats peuvent être interprétés par un personnel qualifié,

2. Démarche d'intégration des réseaux des capteurs intelligents

L'avancée des technologies des télécommunications et de l'électronique a permis d'offrir des perspectives intéressantes dans l'utilisation de ces nouvelles technologies des réseaux de capteurs intelligents dans les systèmes de la télésurveillance pour la détection et le diagnostic des pannes des systèmes de production. Notre contribution dans ce travail est l'utilisation des réseaux des capteurs intelligents pour répondre aux exigences d'une politique de maintenance préventive prévisionnelle selon les étapes suivante:

- Choix des systèmes de production

Pour des raisons économiques, on ne peut pas installer un système de télésurveillance, en premier lieu, pour toutes les machines de production. De ce fait on doit choisir les équipements critiques à l'aide des méthodes de classification comme Pareto ou des méthodes multicritères de prise de décision. [13] utilise la logique floue pour choisir les équipements prioritaires qui bénéficient des tâches de la maintenance préventive. [14] classe les équipements par ordre de priorité à l'aide d'une approche multicritères.

Parmi les critères de choix des machines critiques qui bénéficient d'intégration d'un système de télésurveillance, on peut citer: l'âge du matériel, redondance du matériel, complexité du matériel, coûts du matériel et les conditions de travail.

- Choix des paramètres significatifs du système

Les performances du système de télésurveillance dépendront de la pertinence des paramètres calculés. Les problèmes induits par cette orientation se posent alors en ces termes: Quels sont les paramètres significatifs qui devraient bénéficier en priorité d'une action de la télésurveillance?

Cette étape consiste à construire le vecteur forme à partir des mesures réalisées sur le système physique ou à partir des informations collectées. Ces mesures ne sont pas toutes aussi informatives, elles peuvent correspondre à du bruit, peuvent être peu significatives, corrélées ou redondantes ou simplement inexploitable. De ce fait, il est donc préférable de disposer de paramètres variant, de manière significative (qui représentent 80% des cas de défaillances de la machine), en fonction des différents modes de fonctionnement du système. Le choix des paramètres pertinents peut réduire le nombre de capteurs, de même le nombre souvent élevé de paramètres peut être aussi pénalisant en termes de temps de calcul et influence sur le coût de l'installation. Les paramètres observés doivent permettre de répondre au problème de défaillance de la machine dans l'objectif de détecter toute évolution critique des pannes. La définition de l'ensemble des paramètres dont

on souhaite simuler l'évolution doit satisfaire les contraintes suivantes:

- Les paramètres considérés doivent être suffisamment représentatifs des activités réalisées par la machine à une détérioration de son état de dégradation pour être pleinement en adéquation avec les objectifs de décision.
- Les valeurs des paramètres doivent pouvoir être obtenues simplement à partir des données enregistrées par un ou plusieurs capteurs installés dans les machines.
- L'ensemble des paramètres disponibles est limité par le choix des capteurs, facilité d'utilisation, faible coût.
- Simulation avec un protocole de communication

La communication entre le capteur et le système de contrôle ou les interfaces homme-machine est souvent numérique afin de transmettre plusieurs types d'information. Elle est également bidirectionnelle. Le capteur envoie les résultats de mesure et des informations de diagnostic, et reçoit des commandes et paramètres de fonctionnement du système de contrôle.

- Démarche de télésurveillance avec réseau de capteurs intelligents

La télésurveillance à l'aide des réseaux des capteurs intelligents vise à récupérer à distance des informations, qui fera l'objet d'un traitement et sera sanctionnée par une prise de décision pour les donneurs d'ordre dans le service maintenance. Figure5 présente les étapes de télésurveillance à l'aide des réseaux des capteurs intelligents.

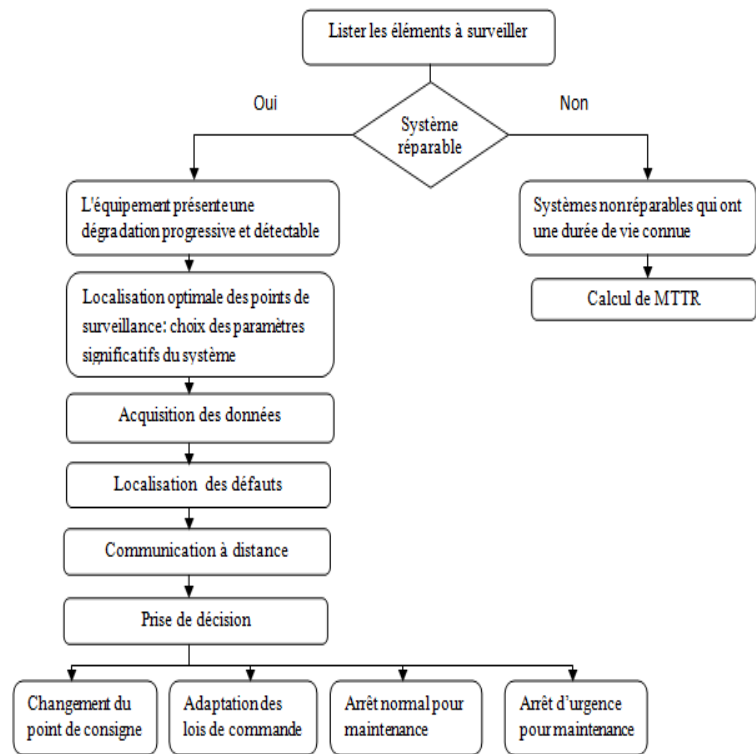


Figure 5: télésurveillance à l'aide des réseaux des capteurs intelligents

VI. CONCLUSION

L'intégration de cette nouvelle technologie d'un réseau des capteurs intelligents, à l'aide des capteurs intelligents qui disposent de ces fonctions: l'auto-ajustage, l'autodiagnostic, la reconfiguration dynamique et la communication en réseaux s'adaptent parfaitement avec les fonctions de la télésurveillance des systèmes de production dans un cadre de la maintenance prévisionnelle. Ceci permet d'exécuter des tâches très spécifiques, comme le fait de communiquer rapidement et à distance, des informations pertinentes concernant des phénomènes détectés sur les systèmes de production, aussi pour la prise de décision en temps réel et en matière d'actions de la maintenance à entreprendre par un responsable de la maintenance.

La future extension de ce travail consiste à présenter une simulation auprès d'un cas industriel, tout en respectant les différentes étapes pour la mise en œuvre de ces technologies pour les équipements de production.

References

- [1] L. Khelladi and N. Badache, "Les réseaux de capteurs : état de l'art," 2004.
- [2] "MySiteCare et MyRemoteCare La surveillance de la fiabilité de l'équipement Les stratégies de maintenance Quelle est la meilleure démarche?"
- [3] C. Kone, "Thèse Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I," 2011.
- [4] P. Universit, A. B. Belkaid, T. Facult, B. Zeyneb, B. A. Pr, B. Badr, L. Nabila, L. Mohammed, and B. Mohammed, pp. 2011–2012, 2012.

- [5] L. Fillatre, P. Honeine, I. Nikiforov, H. Snoussi, N. Azzaoui, and I. C. D. Lms, "VigiRes ' Eau : Surveillance en temps reel de la qualite de l' eau potable d' un reseau de distribution en vue de la detection d' intrusions Approche param'," 2013.
- [6] J. Fourier and D. D. E. L. U. E, "Fusion de donnees multicapteurs pour un systeme de tele-surveillance medicale de personnes a domicile," 2004.
- [7] A. Van Den Bossche, E. Campo, N. Vigouroux, and F. Vella, "Reseau de capteurs sans fil distribues pour le monitoring des activites de vie au sein d' une maison intelligente," vol. 3, no. 1, pp. 3-7.
- [8] a. Wood, G. Virone, T. Doan, and Q. Cao, "ALARM-NET: Wireless sensor networks for assisted-living and residential monitoring," Univ. Virginia ..., pp. 1-14, 2006.
- [9] S. Electric and I. Sas, "Systeme de surveillance embarque sur un disjoncteur MT," pp. 1-6.
- [10] M. Mollahassani-pour, A. Abdollahi, and M. Rashidinejad, "Application of a novel cost reduction index to preventive maintenance scheduling," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 56, pp. 235-240, 2014.
- [11] V. Technology, "PLANIFICATION ADAPTATIVE D' OPERATIONS DE MAINTENANCE BASEE SUR LA DEGRADATION DES COMPOSANTS D' UN VEHICULE INDUSTRIEL ADAPTATIVE MAINTENANCE SCHEDULING ACCORDING TO THE COMPONENT DEGRADATION OF A COMMERCIAL HEAVY VEHICLE Definition du probleme," pp. 1-10, 2010.
- [12] Rivals, L. Personnaz, G. Dreyfus, and I. L. E. S. Moulineaux, "Modelisation, classification et commande par reseaux de neurones : principes fondamentaux, methodologie de conception et illustrations industrielles i. rivals, l. personnaz, g. dreyfus," Re-seaux, no. C, pp. 2005-2008, 2008.
- [13] A. Khanlari, K. Mohammadi, and B. Sohrabi, "Prioritizing equipments for preventive maintenance (PM) activities using fuzzy rules," Comput. Ind. Eng., vol. 54, no. 2, pp. 169-184, 2008.
- [14] A. C. D. Ait-kadi, "Classement des equipements par ordre de priorite pour la maintenance : une approche multicritere," vol. 11, pp. 1-23, 2002.

Étude comparative des modèles de gestion des pièces de rechange

Bounou Oumaima, El Barkany Abdellah et El Biyaali Ahmed

Laboratoire Génie Mécanique, Faculté des Sciences et Techniques,
Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Route d'Imouzzer, BP. 2202, Fès, Maroc.

Emails: ouma2408@gmail.com, a_elbarkany2002@yahoo.fr, biyaali@yahoo.fr

Track1: Production Intégrée/ **Thèmes :** Méthodes d'optimisation / Qualité, maintenance et supervision, communication orale

Résumé—Cet article vise à donner une vision sur les modèles de gestion des pièces de rechange. Plusieurs travaux dans la littérature ont traité la gestion des pièces de rechange, les modèles existants utilisent des méthodes probabilistes et graphiques.

En se basant sur des modèles classiques, il y a des modèles qu'ils sont conçu en tenant compte de certains critères comme l'incertitude des paramètres et le risque de rupture de stock. C'est le sujet de la première partie de ce travail qui va se focaliser sur les modèles probabilistes, classiques et ainsi les modèles qui traitent la gestion de risque dans la gestion du stock.

Dans la deuxième partie, cet article vise à établir une étude comparative détaillée sur l'ensemble des modèles de gestion des pièces de rechange présentés dans la première partie. Le but de cette étude comparative est de déterminer le modèle de référence que nous allons développer et évaluer à travers une application industrielle.

Mots clés—pièces de rechange, gestion du stock, modèles, évaluation comparative, gestion de risque, stock de sécurité, pénurie.

I. INTRODUCTION

Pour une entreprise industrielle, il existe plusieurs politiques de gestion d'approvisionnements afin de trouver la quantité optimale nécessaires à approvisionner dans les délais acceptables à moindre coûts. Le choix de la politique n'est pas arbitraire. En fonction des besoins, le gestionnaire du stock décide la politique sans tomber dans une rupture de stock ni avoir un sur stock. En se basant sur des modèles graphiques ou probabilistes, quelques auteurs ont intégrés le principe de risque de rupture du stock dans leur modélisation. La notion d'incertitudes liées aux paramètres de sélection des pièces de rechange, existante dans la gestion de ces pièces. Elle devient prépondérante lors de l'introduction des pièces de rechange recyclées.

En se basant sur des modèles classiques, il y a des modèles qu'ils sont conçu en tenant compte certains critères comme l'incertitude des paramètres et le risque de rupture de stock. C'est le sujet de la première partie de ce travail qui va se focaliser sur

les modèles probabilistes, classiques et ainsi les modèles qui traitent la gestion de risque dans la gestion du stock. Dans la deuxième partie, cet article vise à établir une étude comparative détaillée sur l'ensemble des modèles de gestion des pièces de rechange présentés dans la première partie. Le but de cette étude comparative est de déterminer le modèle de référence que je vais développer et évaluer à travers une application industrielle.

II. REVUE DE LITTÉRATURE

Il existe deux types de contrôles des inventaires, la première consiste sur le contrôle continu du niveau du stock. Ceci peut provoquer les passations successives des commandes sans possibilité de regroupement. Cette politique est préférable pour la classe prioritaire des pièces stockées. Par contre à la deuxième politique, elle consiste sur un contrôle périodique avec périodicité prédéterminée, facilite la planification de la charge de travail des préposés aux magasins de stockage. Les politiques de contrôle de l'inventaire dépendent de la classification des articles. il existe quatre politiques classique ((T, S) ; (T, s, S) ; (s, S) ; (S-1, S)) en plus à la politique EOQ. Le modèle de Wilson est le plus couramment utilisé et recommandé lorsque le taux de la demande et le délai de réapprovisionnements sont connus et constants. Il consiste à calculer la quantité commandée et période de passage de commande.

En se basant sur la politique d'inventaire de type contrôle continu, Sarker et Haque ont développé un modèle de simulation dans son article [22] pour le système d'exploitation avec le remplacement du bloc. Ainsi, Mhada a considéré un (Q, s) modèle dans son document [23], avec des caractéristiques aléatoires de la distribution de temps et la demande. Tongdan et Haitao ont proposé un modèle basé sur une dynamique (Q, r) dans la référence [24] pour la demande de maintenance globale générée par un produit. La politique de repeuplement est formulé et résolu en utilisant une approche multi-résolution. Par contre, Kostas-Platon a appliqué dans son article [10] l'approche bayésienne de manière innovante pour spécifier le paramètre S du système d'inventaire (S-1, S).

L'objectif du système d'inventaire multi-point considéré dans l'article [15], est de trouver les

¹ère Conférence Internationale: Les Technologies de l'Information et les Systèmes de Production Intégrée, TISPI 2016, 26-28 Mai 2016, Oujda - Maroc.

¹st International Conference on Information Technologies and Integrated Production Systems, TISPI 2016, May 26-28, 2015, Oujda

paramètres de la politique (Q, R) pour l'entrepôt central et la politique (S-1, S) pour les entrepôts locaux, en minimisant la détention prévu des stocks du système et les coûts fixes de la commande, à travers une heuristique de Lagrange et une méthode de génération de Gloton. Pour le cas d'examen périodique dans [19], Hausman et Thomas ont discuté le programme dynamique et formulé un modèle analytique rapprochant les caractéristiques comme les coûts de stock et d'installation pour les commandes. Dans son article [13], Saidane a développé un modèle en se basant sur une politique de base en tenant compte de trois caractéristiques : le délai d'approvisionnement est constant, les tailles de la demande suivent une distribution gamma et les intervalles de la demande suivent une distribution erlang.

Dans le but est de contrôler le stock de sécurité probabiliste de multiple pièces, Fergany a proposé dans son article [5] un modèle d'inventaire de source unique avec zéro délai et coût variable de commande sous les contraintes du coût de maintien et le coût de stock de sécurité. Elle a appliqué les techniques géométriques de programmation pour obtenir des solutions optimales de son système. Dans la plupart de modèles probabilistes d'inventaire, la distribution de la demande est supposé indépendante du prix, par contre la distribution de la demande en pratique est une fonction de prix. Dans ce sens, Kar considère dans son document [18] un modèle d'inventaire multiélément sous les contraintes de nature floues et imprécises. Le modèle est résolu à l'aide une technique de programmation floue non linéaire. Sarbjit a essayé dans la référence [14] d'accroître le bénéfice d'organisation par la réduction du coût de l'inventaire à travers son modèle qui peut être étendu d'avantage pour des articles périssables avec le crédit commercial fixe, d'autres facteurs comme l'inflation et la valeur temporelle d'argent peuvent être considérées.

En utilisant les principes de programmation linéaire dans son document [3], Bharadwaj a développé un modèle d'optimisation du risque sous forme une approche semi-quantitative. Le but de cette approche est de trouver les nombres optimaux de différentes parties de l'inventaire sous les contraintes de budget. Pour éviter les conséquences résulté de risques d'exploitation liés au risque livraison généré par les fournisseurs, marquer la taille optimale de livraison et choisir le moins cher, Grzegorz a entamé dans l'article [17] le problème de la sélection d'un homologue parmi les fournisseurs en utilisant le modèle de la quantité économique de la gestion de l'inventaire.

Pour le problème de multi-période, Chen a proposé dans la référence [16], une approche de modélisation d'aversion risque dans le but de maximiser l'utilité attendu de la présente valeur nette du revenu. Dans le modèle d'utilité additive, le modèle d'optimisation peut être résolu par programmation dynamique. Ainsi, Chen a conclu : La politique (s, S) est optimal lorsque le prix n'est

une variable de la décision, par contre dans le cas de la demande additive, la politique (s, S, P) est optimal et dans le cas général la politique optimale est la politique (s, S, A, P).

En se basant sur une analogie avec la théorie des files, Lonchampt a décrit dans son article [11] une méthode qui permet de réaliser une valorisation technico-économique d'un stock de pièces de rechange, ceci en évaluant tous les moments probabilistes des coûts générés par un stock directement ou indirectement. Le modèle cité dans l'article [9] est comme un système de simulation calcul, en utilisant une bêta-distribution modifiée pour la période de rupture de stock qui est une variable aléatoire lourde queue. En se basant sur l'analyse de vieillissement des pièces de rechange dans un environnement pratique, Jaarsveld et Dekker proposent dans [20] une méthode utilisée pour estimer ce risque. Le taux de la demande est supposé qu'il dépend de l'état d'un processus de Markov en temps continu.

Lorsque le stock est composé des pièces non réparables et réparables, Louit a présenté pour la détermination de la taille optimale du stock des pièces de rechange relativement coûteux dans son article [12] les différents modèles de coûts et de risques, en considérant les scénarios de nombres illimités et limité de serveurs de réparation disponibles, en outre les modèles réalisés à l'estimation de la durée de vie restante d'un stock donné. Perlman et Levner analysent dans son document [28] un système d'inventaire multifournisseur qui comprend un atelier de réparation interne qui offre plusieurs modes de réparation avec des temps de réparation et un fournisseur externe de pièces de rechange. Selon la référence [4], l'âge d'un composant reconditionné est une caractéristique importante à prendre en considération lors d'acquisition des pièces car il a un impact sur le nombre de défaillances accidentelles. Diallo a proposé deux modèles de décision : modèle basé sur la caractéristique de la fiabilité, modèle économique consiste à déterminer un point d'équilibre entre le gain réalisé à l'achat et les coûts de la réparation.

Dans le but d'assurer pendant la phase d'exploitation la disponibilité des pièces de rechange en sein du service maintenance et de déterminer la combinaison alternative entre les pièces de rechange neuves et recyclées, Ghorbel propose dans l'article [6] un modèle basé sur les réseaux bayésiens en tenant en compte les incertitudes sur la nature de la demande des pièces de rechange, sur les fluctuations des prix d'achat et sur les délais d'approvisionnement. Selon la référence [7], la détermination de la demande et le coût de stockage par jour par unité suit la distribution normale. Le coût d'achat des pièces de rechange est déterminé à l'aide d'une équation déterministe qui prend en considération le coût d'achat des pièces de rechange neuves et recyclées. Dans [8], elle a pris la politique (T,s,S) comme étant une politique

d'approvisionnement de référence. Elle cherche l'optimalité au sens du coût à travers la modélisation des configurations possibles des pièces de rechange en tenant compte des indicateurs d'états de rupture de stock.

Lorsque le délai d'approvisionnement est plus court que l'intervalle entre les pannes, les modèles de gestion conjointe du stock et de la maintenance traitent les articles encombrants dont les coûts d'acquisition du stockage et de la pénurie sont élevés et la fréquence de remplacements est faible. Diallo a proposé dans sa thèse [4]:

- Modèle avec maintenance préventive consiste à passer des commandes normales à des instants prédéterminés si le composant n'est pas tombé en panne, dans le cas où la panne est produite, une commande d'urgence est lancée.

- Modèle d'approvisionnement unitaire avec réparation minimale est consacré pour les systèmes réparables dans le but à déterminer l'instant de commande des pièces de rechange ou à quelle panne il faut passer la commande et remplacer la pièce en utilisant une procédure numérique d'énumération bidimensionnelle.

- Modèle conjoint pour l'approvisionnement par lot : les stratégies de base les plus connues sont les stratégies BRP, ARP, MRP. Les pièces de rechange sont contrôlées suivant une politique de type (T, S).

Dans une étude récente [25], Sofia Panagiotidou a utilisé approches probabilistes ou graphiques Pour spécifier des paramètres d'examen périodique politique (R, S) et la politique de contrôle continu (s, S). En utilisant une maintenance préventive planifiée dans l'étude [21], Vaughan a utilisé un examen continu (s, S), caractérisé par un modèle de programmation dynamique stochastique.

En ce qui concerne l'optimisation conjointe des variables de décision (la quantité de commande, commande de l'intervalle et l'intervalle d'inspection), pour construire son modèle présenté dans l'article [27], Wang a utilisé le concept de temps de retard et une politique d'inspection à base de blocs où tous les composants sont contrôlés en même temps. Il a utilisé une combinaison d'approches analytiques et d'énumération pour trouver la solution optimale du processus de décision. Dans le contexte de l'interaction entre maintenance, pièces de rechange et capacité de réparation, Smidt-Destombes a développé une optimisation heuristique dans son document [26] pour l'optimisation conjointe de la fréquence de maintenance, stocks et capacité de réparation de pièces de rechange pour un seul k-out-of-N système dans la maintenance conditionnelle, et

une base installée de plusieurs systèmes identiques k-out-of-N.

Dans le document [2], les auteurs ont modélisé le problème conjoint d'analyse le niveau de réparation LORA et du stock des pièces de rechange, comme un problème d'optimisation déterministe linéaire. Il a proposé un algorithme itératif pour résoudre le problème conjoint de LORA et du stock des pièces de rechange. Par contre, Ayadi a proposé dans la référence [1], en se basant sur une approche de modélisation par réseaux bayésiens dynamiques, une fonction de coût permettant d'évaluer les politiques de maintenance, mis en œuvre un algorithme d'optimisation de type génétique pour retenir les politiques de maintenance préventive optimales.

III. ETUDE COMPARATIVE

En se basant sur l'étude bibliographique précédente, on a élaboré le tableau 1 qui représente une comparaison de différents modèles de la gestion du stock des pièces de rechange.

Les travaux présentés dans la revue de littérature sont divisés en deux axes : modèles de la gestion des pièces de rechange et des modèles de la gestion conjointe des pièces de rechange et de la maintenance préventive. On a remarqué dans les deux axes que les stratégies de base sont utilisées, en se basant sur des approches probabilistes, graphiques ou heuristiques pour déterminer les paramètres des politiques. Concernant la gestion des pièces de rechange, il y a plusieurs caractéristiques qui sont tenus en compte comme multi-période, multi-pièces et multipoint de stockage. On a vu que la plupart des auteurs utilisent juste un de ces paramètres comme il est vu dans [16], [15] et [5]. Ainsi on a constaté que l'utilisation de ces trois paramètres en même temps donne une complexité à la résolution au système. On a remarqué que les pièces recyclées ne sont pas trop considérées par les auteurs même si la réparation des pièces et que la maintenance préventive la plus dominante dans la gestion conjointe des pièces de rechange et la maintenance.

D'après cette comparaison, nous allons choisir la politique (T, s, S) parce qu'elle élimine les petites commande. Pour la détermination des paramètres de cette politique, nous allons utiliser le modèle bayésien, en tenant compte des paramètres incertains et la notion de risque. Puisque le risque de rupture de stock est le plus dominant ainsi a des conséquences financiers importantes, nous avons prendre en considération ce risque dans notre modélisation. Ainsi, nous allons voir le cas de la gestion conjointe du stock avec la maintenance préventive qui va baser sur la politique de base .

TABLEAU 1 : LES MODELES DE GESTION D'INVENTAIRE DES PIECES DE RECHANGE AVEC DES DIFFERENTS CARACTERISTIQUES

<i>Auteurs</i>	<i>Système</i>	<i>Caractéristiques</i>	<i>Risque</i>	<i>Maintenance</i>	<i>Méthode de résolution</i>
<i>Fergany, 2005</i>	<i>Modèle probabiliste</i>	<i>Multiple pièces ; Stock de sécurité ; Intégration des pièces de rechange recyclées</i>	<i>Risque de pénurie</i>		<i>Techniques géométriques de programmation</i>
<i>Chen et al, 2007</i>	<i>Modèle économique</i>	<i>Multi- période ; Aversion du risque</i>	<i>Risque d'exploitation</i>		
<i>Jaarsveld et Dekker, 2010</i>	<i>Modèle de la demande</i>	<i>Méthode d'estimation</i>	<i>Risque de vieillissement</i>		<i>En utilisant le comportement des groupes similaires</i>
<i>Bharadwaj et al, 2011</i>	<i>Approche semi quantitative</i>	<i>Contraintes spécifiques</i>	<i>Sous la forme de combinaison de la probabilité de rupture de stock et ses conséquences</i>		<i>Programmation linéaire</i>
<i>Ghorbel 2013,</i>	<i>Modèle bayésien</i>	<i>Pièces de rechange recyclées ; Paramètres incertains</i>	<i>Risque de pénurie</i>		<i>Simulation</i>
<i>Topan et al, 2010</i>	<i>Politiques (Q, R) et</i>	<i>Multi-point de stockage ; Détention prévu du stock</i>			<i>Heuristique de Lagrange Méthode de génération Gloton</i>
<i>Saidane et al, 2011</i>	<i>Politique de base</i>	<i>Demande suit la distribution gamma et les intervalles de la demande suivent une distribution Erlang</i>			<i>Analytique</i>
<i>Kostas-platon et al, 2004</i>	<i>Système (S-I, S)</i>	<i>La méthode se révèle peu agressif dans sa tentative d'éviter les stocks excédentaires</i>			<i>Approche bayésienne de manière innovante</i>
<i>Mhada et al, 2000</i>	<i>Système (Q, S)</i>	<i>Distribution du temps exponentielle Caractéristiques de la demande aléatoire</i>			<i>The Monte Carlo simulation</i>
<i>Diallo, 2006</i>	<i>Modèle économique</i>	<i>Approvisionnements unitaire Processus cyclique</i>	<i>Risque de pénurie</i>		<i>Analytique</i>
	<i>Approvisionnement par lot Approvisionnement unitaire avec réparation minimal</i>	<i>Evaluation du cout total Prendre en considération cout de pénurie</i>		<i>Maintenance préventive</i>	<i>Analytique Procédure numérique d'énumération bidimensionnelle</i>
<i>Smidt-Destombes et al, 2009</i>	<i>Optimisation heuristique</i>	<i>k- out-of-N système réparation des pièces</i>		<i>Maintenance conditionnelle</i>	<i>Analyse marginale ajusté</i>
<i>Wang, 2011</i>	<i>Optimisation conjointe</i>	<i>Concept de temps de retard bien connu</i>		<i>Une politique d'inspection à base de blocs</i>	<i>Un algorithme en utilisant une combinaison d'approches analytiques et d'énumération</i>
<i>Basten et al, 2012</i>	<i>Optimisation déterministe linéaire</i>	<i>Analyse le niveau de réparation Problème multi-échelon</i>		<i>Maintenance corrective</i>	<i>Algorithme itératif en utilisant Vari- Metric</i>
<i>Ayadi, 2010</i>	<i>Une approche de modélisation par réseaux bayésiens dynamiques</i>	<i>Une fonction de coût permettant d'évaluer les politiques de maintenance</i>		<i>Maintenance préventive</i>	<i>Un algorithme d'optimisation de type génétique</i>
<i>Sofia Pangiotidou, 2014</i>	<i>Maintenance et les politiques d'ordre</i>	<i>Contrôle périodique et continu ((R, S) et (s, S))</i>		<i>Maintenance préventive</i>	<i>Approche probabiliste ou graphique</i>
<i>Vaughan, 2005</i>	<i>contrôle continu</i>	<i>Modèle de programmation dynamique stochastique</i>		<i>Maintenance préventive</i>	

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Il y a une diversité des modèles de gestion de l'inventaire, on a pu de faire une petite comparaison de quelques modèles, on a remarqué que des paramètres qui sont dominant dans la modélisation comme le risque de rupture de stock dans les modèles probabilistes de gestion du stock et la maintenance préventive dans les modèles de gestion conjointe du stock et de la maintenance.

En perspective, On va choisir les modèles probabilistes ou graphiques (comme exemple les réseaux bayésiens) pour déterminer les paramètres de stratégie qui va être sélectionnée, ainsi on va prendre en considération les pièces recyclées et le risque de pénurie tout en minimisant les coûts. Ainsi on va voir le de gestion conjointe avec la maintenance préventive.

Références

- [1] Ayadi I., Bouillant L., Aknin P., Siarry P., optimisation par algorithme génétique de la maintenance préventive dans un contexte de modélisation par modèles graphiques probabilistes, institue de la maîtrise des risques, LambdaMu17, 17ème congrès de maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement, la rochelle, France, octobre 2010.
- [2] Basten R. J. I., van der Heijden M. C., Schutten J. M. J., Kutanoglu E., An approximate approach for the joint problem of level of repair analysis and spare parts stocking, ANNE Oper res 2012.
- [3] Bharadwaj Ujjwal R., Silberschmidt Vadim V. et Wintle John B., Risk based optimization of spares inventory management, Advances in production engineering of management journal 6, pp 173-184, 2011.
- [4] Diallo C., Développement d'un modèle d'identification et de gestion des pièces de rechange, Université Laval, Québec, thèse de doctorat, 2006.
- [5] Fergany H. A., periodic review probabilistic multi-item inventory system with zero lead time under constraints and varyin order cost, American journal of applied sciences 2 (8), pp 1213-1217, 2005.
- [6] Ghorbel N., Addouches A, EL Mhamedi A., Boujelbene Y., Bayesian approach for spare parts replenishment policies under uncertainties, International Journal of Engineering Research and Development, Volume 10, Issue 11, pp.28-45, November 2014.
- [7] Ghorbel N., Duta L., Addouches-A, EL Mhamedi A., L'intégration de l'incertitude dans la gestion des stocks des pièces de rechange, CIGI 2011.
- [8] Ghorbel N., gestion des réapprovisionnements périodiques des pièces de rechange sous incertitudes pour le MCO de parc matériels : maîtrise de risque de rupture des stocks, thèse de doctorat, université de Vincennes Saint-Denis Paris 8, 2013.
- [9] Hagmark P.-E. & Pernu H., Risk evaluation of a spare part stock by stochastic simulation, Tampere University of Technology, Finland, ESREL Conference, Portugal, 18-22 September, 2006.
- [10] Kostas-Platon Aronis, Magou Ioulia, Dekker Rommert, Tagaras George, Inventory control of spare parts using bayesian approach: case study, European journal of operational research 154, pp730-739, 2004.
- [11] Lonchamp Jérôme, évaluation des stocks par un modèle de file d'attente: indicateurs du risque, congrès de maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement, communication 60-4, octobre 2008.
- [12] Louit D., Pascual R., Banjevic D., jardine A. K. S., optimization models for critical spare parts inventories- a reliability approach, journal of the operational research society 62, pp 992-1004, 2011.
- [13] Saidane S., badai Z., aguir S., korbaa O., spare parts inventory systems under an increasing failure rate demand interval distribution, proceedings of 41st international conference on computers & industriel engineering, pp 768-773, 23-25 october 2011.
- [14] Sarbjit S., Jitendra S., Shivraj S., Profit maximizing probabilistic inventory model under the effect of permissible delay, IMECS, vol III, pp1760-1763 2010.
- [15] Topan E., Bayindir Z. P., Tan T., Heuristics for multi item two echelon spare parts inventory control problem with batch ordering in the central warehouse, beta research school for operation management and logistics, beta working paper 321, September 2010.
- [16] Xin Chen, Melvyn Sim, David Simchi-Levi et Peng sun, Risk aversion in inventory management, operations research 55(5), pp828-842, 2007.
- [17] Grzegorz Michalski, inventory management optimization as part of operational risk management, economic computation and economic cybernetics studies and research, pp 213-222, April 2009.
- [18] Kar S., Roy T., Maiti M., Multi-item inventory model with probabilistic price dependent demand and imprecise goal and constraints, Yugoslav journal of operations research 11, number 1, pp 93-103, 2001.
- [19] Warren H. Hausman and Thomas L. Joseph, Inventory control with probabilistic demand and periodic with draws, management science, vol 18 N°5 theory series, part 1, pp 265-275, janvier 1972.
- [20] Willem van Jaarsveld, Dekker Rommert, Estimating obsolescence risk from demand data - a case study, Report Econometric Institute EI 2010-03, January 18, 2010.
- [21] Vaughan T.S., Failure replacement and preventive maintenance spare parts ordering policy, European Journal of Operational Research, Vol.161, No.1, pp.183-190, 2005.
- [22] Ruhul Sarker and Amanul Haque, Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation, Applied Mathematical Modelling, Vol 24, Issue 10, pp 751-760, August 2000.
- [23] Mhada F., Malhame R., Sadr J., Gharbi A., Pellerin R., (Q, s) models for inventory policy with random component procurement lead times, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, 2013.
- [24] Tongdan Jin, Haitao Liao, Spare parts inventory control considering stochastic growth of an installed base, Computers & Industrial Engineering, pp 452-461, 2008.
- [25] Sofia Panagiotidou, Joint optimization of spare parts ordering and maintenance policies for multiple identical items subject to silent failures, European Journal of Operational Research, Vol.235, No.3 pp.300-314, 2014.
- [26] Smidt-Destombes K.S., Van Der Heijden M. and Van Harten A. , Joint optimisation of spare part inventory, maintenance frequency and repair capacity for k-out-of-N systems, International Journal of Production Economics, Vol. 118, No.2, pp. 260-268, 2009.
- [27] Wang Wenbin, A joint spare part and maintenance inspection optimization model using the Delay-Time concept, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 96, No.11 pp.1535-1541, 2011.
- [28] Perlman Y., Levner I., Modeling Multi-Echelon Multi-Supplier Repairable Inventory Systems with Backorders, J. Service Science & Management, 3, pp 440-448, 2010.

Concepts de planification industrielle et commerciale et modèles soumis à différents types de contraintes : Revue de littérature

Nabil LAHLOUA
Laboratoire de Génie Mécanique
Faculté des Sciences et Techniques
FES - MAROC
nabil.lahloua@usmba.ac.ma

Abdellah EL BARKANY et Ahmed EL KHALFI
Laboratoire de Génie Mécanique
Faculté des Sciences et Techniques
FES - MAROC
a_elbarkany2002@yahoo.fr, aelkhalfi@gmail.com

Résumé—La mondialisation a eu un impact significatif sur la gestion des entreprises et en particulier de la chaîne logistique (délais d'approvisionnement, investissements en capacités et technologies de production, organisation & management,...). Dans ce nouvel environnement, la coordination et l'intégration de l'ensemble des fonctions et particulièrement entre commerce et industrie joue un rôle majeur dans la réduction des coûts de production et logistique, la satisfaction de la demande du marché ainsi que l'amélioration de la performance et la compétitivité. La planification industrielle et commerciale (PIC) regroupe l'ensemble des processus qui permettent de lier les objectifs stratégiques de l'entreprises avec le plan de production détaillé, pour adapter au mieux l'offre (ou les capacités de production) à la demande du marché.

L'impact de la planification industrielle et commerciale sur la performance opérationnelle a été constamment et sensiblement démontrée sur les dimensions opérationnelles de production ; la qualité (conformité de production, la qualité des produits et leurs fiabilité), la livraison (la rapidité des livraisons, la fiabilité des livraisons, les délais de fabrication, les délais d'approvisionnement), les stocks (réduction des niveaux de stocks, optimisation des inventaires) et de flexibilité (volume et mix de flexibilité).

Notre objectif dans ce papier est de présenter dans une première partie une vue globale relative à la littérature de la planification industrielle et commerciale et les différentes recherches et modèles élaborés.

En seconde partie, nous allons souligner l'aspect transversal de notre recherche qui implique à la fois des enjeux opérationnels, tactiques et stratégiques dans un contexte soumis à différents types de contraintes.

Mots clefs — *planification industrielle et commerciale, revue de littérature, modèles, concepts, contraintes.*

I. INTRODUCTION

La planification industrielle et commerciale (PIC) joue un rôle majeur dans la coordination entre commerce, logistique et industriel. La PIC regroupe l'ensemble des processus pour

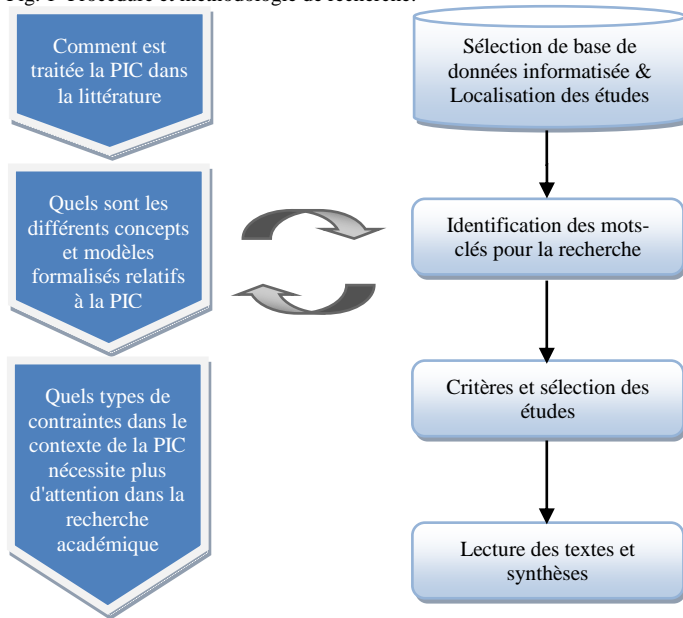
établir le plan prévisionnel de production au niveau tactique et qui permet de relier les objectifs stratégiques de l'entreprise avec les enjeux opérationnels du plan directeur de production afin d'équilibrer au mieux la demande et l'offre selon Feng et al., (2008) [9]. À travers la PIC, la logistique et le commerce négocient et se coordonnent pour établir les bons volumes de production sur le mix produit à vendre. D'un côté, la logistique s'assure d'avoir des stocks suffisants en pièces et produits finis pour absorber les aléas inévitables. Et de l'autre côté, le commerce s'efforce de maximiser les ventes et maîtriser le mix vendu pour optimiser les profits. L'objectif de la PIC est d'utiliser efficacement les capacités de production disponibles pour répondre au mieux à la demande du marché en termes de coût, délai et qualité. Une sous-utilisation des capacités peut empêcher l'entreprise de conquérir certains marchés. Inversement, une sur-utilisation peut engendrer de fortes dépenses et d'importants stocks si la demande est surestimée. La PIC est d'autant plus importante pour les chaînes logistiques internationales dans un environnement incertain, où la gestion de production a besoin de stabilité et visibilité. Une autre difficulté majeure dans la coordination entre commerce et logistique concerne les aspects managériaux et organisationnels. Les objectifs opposés et souvent antagonistes, le manque de transversalité entre ces deux entités et le fait qu'elles se situent au même niveau hiérarchique dans l'entreprise font qu'il n'existe pas, le plus souvent, de processus clairement définis pour arbitrer les conflits et chercher l'optimum global pour l'entreprise : Rexhausen et al., (2012) [19]. Résoudre ces aspects nécessite une implication forte de la Direction de l'entreprise et la formation d'équipes transversales.

II. APPROCHE ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

L'approche de la méthodologie de recherche est présentée dans cette section. Comme il est laborieux de faire une recherche complète et exhaustive du thème à étudier car la documentation est très dispersée sur diverses sources, nous avons opté de suivre une approche spécifique par analyse croisée entre (i) certaines questions maitresses relatives à notre thématique et (ii) démarche procédurale largement utilisée

dans la recherche en littérature. La Fig. 1 présente une schématisation de notre méthodologie de recherche ;

Fig. 1 Procédure et méthodologie de recherche.

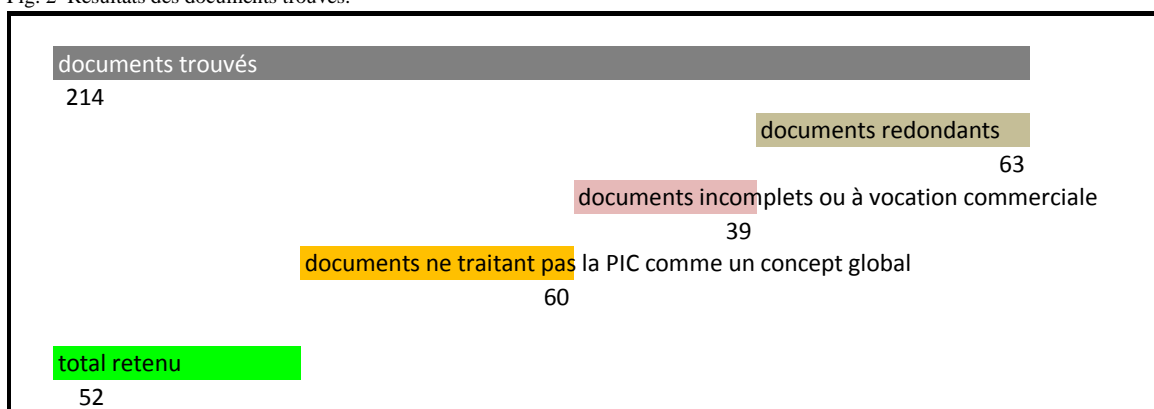


A. Sélection de base de données informatisée & Localisation des études

Cette étape vise à identifier les sources de recherche pertinentes. Les recommandations de Thomé et al., (2012) [20] et Tuomikangas et Kaipia., (2014) [24] relatives à leurs conduction de recherche dans la même thématique préconisent trois bases de données pour la recherche: EBSCO, Emerald et ScienceDirect. Selon les mêmes auteurs, ces bases de données couvrent la majorité des revues scientifiques d'intérêt dans les domaines de la gestion des opérations, la gestion organisationnelle, et les sciences sociales.

Compte tenu des limitations d'accès au texte complet de notre établissement, seule la base de données ScienceDirect a été utilisée, en outre de DOAJ (Directory of Open Access

Fig. 2 Résultats des documents trouvés.



La Fig. 3 présente l'évolution du nombre de papiers retenus pour notre revue de littérature, l'intérêt pour le sujet

Journals) et Google Scholar. Notre recherche a été menée et arrêtée au fin mars 2015.

B. Identification des mots-clés pour la recherche

Les mots-clés suivants ont été utilisés dans le moteur de recherche : "sales and operations planning" qui signifie PIC en anglais, et avec guillemets afin de cibler notre thématique et éviter que de simples mots comme planning soient retournés dans la recherche sans de lien effectif. Aussi d'autres mots ont été utilisés comme "planification industrielle et commerciale", "PIC" et "S&OP" mais qui n'ont pas donnés de satisfaction par rapport aux résultats retournés et on été éliminés dans la phase suivante.

C. Critères et sélection des études

Afin de faire un ciblage de notre recherche, les questions maîtresses présentées dans la Fig. 1 ont servies de lignes directrices ainsi que les critères d'exclusion suivants ont été appliqués lors de la lecture des titres des articles, des résumés et textes complets si nécessaire (i) documents redondants (ii) documents incomplets ou à vocation commerciale (iii) les documents qui ne traitent pas la PIC comme un concept global (traitent la planification ou les ventes seules).

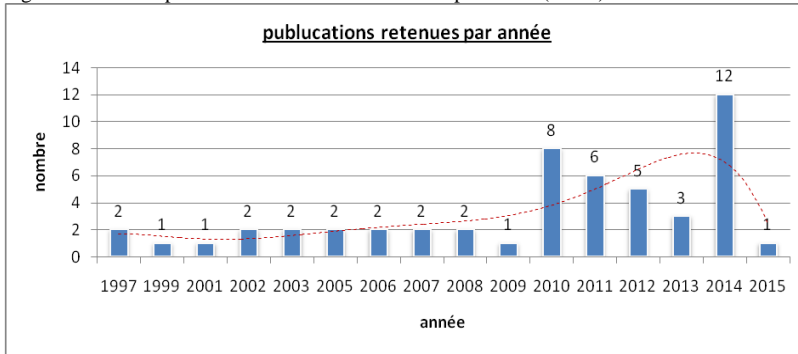
D. Résultats et quelques catégorisations

La recherche a renvoyée 214 documents et tous les résumés ont été lus par au moins deux auteurs. La liste de bibliographie complète est disponible sur simple demande auprès de l'auteur principal.

Premièrement, les éléments redondants ont été exclus à partir des titres des documents résultant de 63 documents. La seconde exclusion relative aux documents incomplets ou à vocation commerciale à aboutit à 39 documents. En troisième et dernier critère relatif concept global de la PIC à résulter 60 documents et au final 52 documents retenus comme illustré en Fig. 2.

croit de plus en plus, comme en témoigne le nombre d'articles récemment publiés sur les différents aspects de la PIC, le sommet du pic est observé sur 2014.

Fig. 3 Nombre de publications retenues dans la PIC par année (N=52).



E. Lecture des textes et synthèses

Nous avons précédé à un classement selon la pertinence du document : (A) pertinent ; (B) moyennement pertinent ; (C) faiblement pertinent. Cette démarche originale nous a permis de mettre plus de focus sur les textes complets des articles pertinents.

Le chapitre suivant synthétise l'état de l'art relatif à la PIC. Le Chapitre IV donne les différents concepts et positionnement de la PIC dans la hiérarchie des décisions de planification. Le Chapitre V résume les principales contraintes et modèles trouvés.

III. COMMENT LA PIC EST ELLE TRAITÉE EN LITTÉRATURE

Malhotra et Sharma, (2002) [4] démarrent leur article par une question : " Dans un article du Harvard Business Review publié il ya 25 ans, Shapiro (1977) a posé la question : marketing et de production peuvent co-exister?". Cette question met le doigt sur l'aspect des objectifs opposés et souvent antagonistes des deux fonctions.

Au début des années 1950, Charles C. Holt, Franco Modigliani, John F. Muth, et Herbert A. Simon (HMMS) ont commencé à travailler sur un projet : "Planification et Contrôle des Opérations Industrielles", à l'École supérieure d'administration industrielle (GSIA) au Carnegie Institute of Technology. William W. Cooper, qui était aussi à GSIA, a lancé le projet avec le support du Office of Naval Research. Ce travail précoce des HMMS dans la planification de la production qui a évolué dans un processus d'affaires important connu aujourd'hui sous le nom de la PIC selon Singhal et Singhal, (2007) [8].

La PIC comme une terminologie a été à l'origine dans les articles concernant la MRPII (la planification des ressources de fabrication), ou des systèmes similaires, où certains auteurs l'ont utilisé indifféremment pour désigner le terme planification de la production agrégée (APP). Depuis les années 1980, la signification de la PIC a été étendue et la planification des ventes a été incluse dans le processus de la PIC. Ainsi, la PIC a deux composantes, notamment la planification des ventes (basée sur la demande) et de planification de la production, qui détermine les besoins en capacité, le niveau des stocks et/ou le niveau du carnet de commandes selon Olhager et al., (2001) [2].

La PIC regroupe l'ensemble des processus qui permettent de lier les objectifs stratégiques de l'entreprise avec le plan de production détaillé, pour adapter au mieux l'offre (ou les capacités de production) à la demande du marché selon Feng et al., (2008) [9]. Le plan industriel et commercial est élaboré de manière transversale et implique de nombreuses fonctions de l'entreprise (commerce, finance, marketing, supply chain). L'élaboration du plan industriel et commercial a fait l'objet de nombreuses études variées durant ces dernières années. Ce domaine de recherche connaît un intérêt grandissant auprès des chercheurs et des industriels.

Thomé et al. (2012) [20] présentent une revue de littérature complète sur la PIC. Ils montrent que ce domaine de recherche est très épars, varié et présente de nombreuses opportunités de recherche. Tuomikangas et Kaipia, (2014) [24] montrent l'impact considérable d'une gestion efficace de la PIC sur les performances de l'entreprise à travers une plate forme et les mécanismes de coordination qui jouent un rôle central au sein de la PIC pour aligner la stratégie d'entreprise et la planification opérationnelle. Lim et al. (2014) [25] montrent comment le contrôle opérationnel a évolué durant les cinquante dernières années, pour passer d'une planification à niveau très opérationnel (atelier de production) à un niveau plus agrégé (PIC et plus généralement la planification globale de la chaîne logistique), pour satisfaire au mieux les clients et les relier directement aux fournisseurs à travers une étude concrète de l'industrie automobile qui a parfaitement suivi la tendance, mais en soulignant le besoin grandissant pour plus de flexibilité dans la PIC notamment à cause de l'internationalisation de la chaîne logistique et de la forte volatilité sur la demande.

Le concept de chaîne d'approvisionnement a introduit la valeur de l'intégration à des partenaires commerciaux. Cette intégration concerne non seulement le flux de matière à partir de fournisseur de matières premières à la livraison du produit fini, mais aussi à la circulation de l'information sur le marché (à savoir le consommateur anonyme) vers les partenaires de la chaîne d'approvisionnement. La gestion de la chaîne d'approvisionnement se concentre principalement sur l'utilisation de ces informations pour optimiser le flux de matière à travers les étapes successives de la logistique amont, les opérations et la logistique externe à travers la chaîne d'approvisionnement. Plus récemment, le terme gestion de la chaîne de la demande a vu le jour, en se concentrant sur le marketing, les ventes et les services partie de la proposition de valeur : Landeghem et Vanmaele, (2002) [5].

Rien de plus important, pour une société basée sur des produits, que fournir les bonnes quantités, du bon produit, au bon client et au bon moment, sans surstocks inutiles. Cela nécessite une adaptation continue et équilibrée de l'offre et la demande des produits. Mieux-alignés sont les plans opérationnels et stratégiques avec un meilleur équilibre de

l'offre et de la demande pourraient faire bénéficier les entreprises en terme de stocks réduits, d'utilisation maximale des moyens et capacités installés, des coûts moindres et des clients satisfaits. Il permettrait également d'augmenter l'avantage concurrentiel des entreprises. Toutefois, beaucoup d'organisations d'aujourd'hui fonctionnent encore sous le contrôle central par des directions fonctionnelles, le lien entre les ventes et les opérations nécessite en particulier une meilleure intégration et collaboration entre les silos opérationnels. Les résultats de cette incohérence sont les retards et l'amplification de la circulation de l'information, les plans d'entreprise sous-optimaux, les réactions non coordonnées au sein de l'entreprise, la flexibilité opérationnelle insuffisante, et les écarts entre l'offre et la demande selon Wagner et al., (2014) [23]. Les même auteurs formalisent une enquête, présentée dans la Tab. I, très parlante des bénéfices d'un alignement de l'ensemble des fonctions relatives à la PIC.

TABLEAU I. Les bénéfices d'un alignement des fonctions de la PIC.

PIC devrait significativement...	Moyenne	Déviatoin standard
augmenter la précision des prévisions	4.80	0.53
accroître la visibilité de la chaîne d'approvisionnement et donc de réduire le risque de perturbation de la chaîne d'approvisionnement	4.59	0.58
réduire les niveaux des stocks et donc le coût du capital tandis qu'au maintien ou à l'amélioration des niveaux du service client	4.45	0.68
améliorer les niveaux de satisfaction de la clientèle	4.31	0.82
améliorer la disponibilité des produits pour les campagnes de marketing et de promotion	4.27	0.89
réduire le nombre des livraisons rapides et des commandes urgentes	4.26	0.82
réduire la quantité de produits obsolètes	4.24	0.77
accroître le retour sur actifs	4.20	0.85
augmenter l'utilisation de la capacité	4.14	0.82
meilleure équilibre entre les coûts de production et d'approvisionnement contre le frais de transport et des stocks de sécurité	4.00	0.92
stimuler la croissance des revenus grâce à un ciblage plus précis sur des produits à forte marge	3.93	1.02
augmenter les ventes et générer des revenus en ligne	3.90	1.03
Remarque: n = 88; 5 points échelles de Likert avec 1: «fortement en désaccord» et 5: «fortement d'accord».		

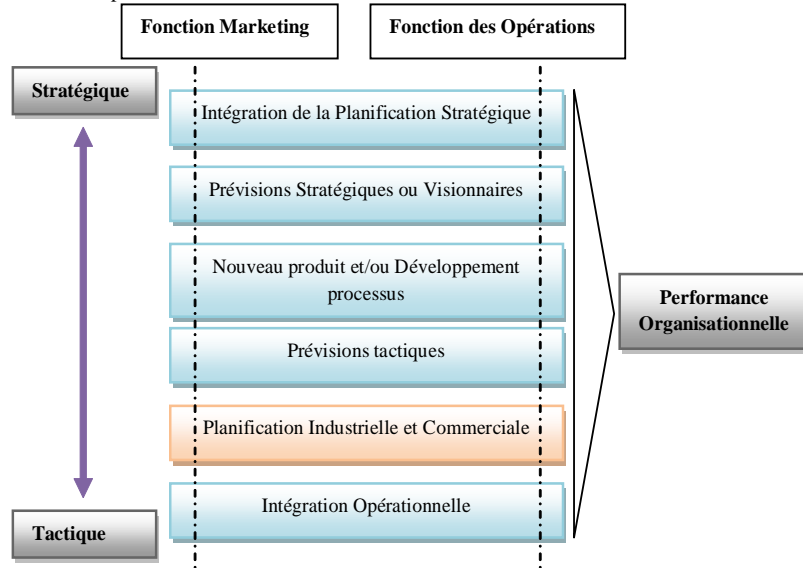
IV. CONCEPTUALISATION ET POSITIONNEMENT DE LA PIC DANS LA HIÉRARCHIE DES SYSTÈMES DE PLANIFICATION

Malhotra et Sharma, (2002) [4] présentent dans la Fig. 4 un cadre simple qui répertorie les zones de prise de décisions clés au sein d'une société où les possibilités existent pour l'intégration inter-fonctionnelle entre les fonctions de commercialisation et d'exploitation. La PIC se situe entre les niveaux stratégique et tactique. Ils soulignent aussi l'importance de :

- L'alignement entre les buts et les objectifs du marketing et des fonctions de production ;

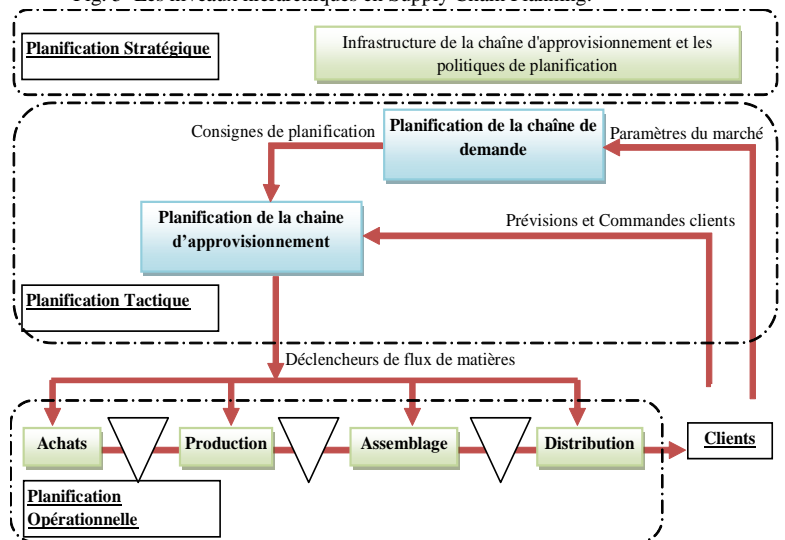
- L'alignement entre la tarification des produits et des coûts de production ;
- L'alignement entre les canaux de distribution et de fabrication ;
- Des problèmes de la chaîne d'approvisionnement et leur interaction avec l'entretien des différents segments du marché.

Fig. 4 Cadre de l'intégration du marketing et des opérations au sein d'une entreprise.



Landeghem et Vanmaele, (2002) [5] introduit la PIC comme un niveau tactique au niveau de la supply chain comme illustré en Fig. 5.

Fig. 5 Les niveaux hiérarchiques en Supply Chain Planning.

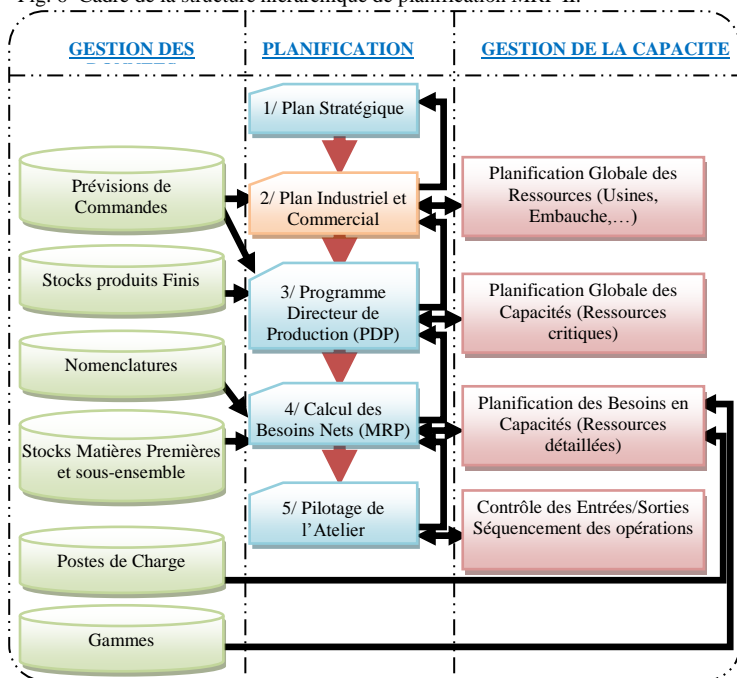


NIVEAU	NOMINATION TYPIQUE	Ce qui est typiquement décidé (non exhaustif)
Stratégique	la planification de conception d'affaires du réseau d'approvisionnement	Localisation des centres de distribution ; Usines ; Stocks tampons ; Flexibilité vs stocks tampons ; Flux poussés vs flux tirés ; Méthodes de planification ; Systèmes d'information ;...
Tactique	Planification Industrielle et Commerciale	Volume de production par famille de produit ; Objectif des niveaux de stocks (opérationnel et sécurité) ; Paramètres de transport ; Moyenne des capacités utilisées ; Coûts et Besoins en fonds de roulement pour la période planifiée ;...
Opérationnel	Plan maître d'ordonnancement de la production Programmation des usines	Volume de production et temps par référence produit ; Ordres de transport ; Ordres d'achats ; Détails des capacités utilisées par équipe ;...

Genin et al., (2001) [3] rapportent le principe de la MRP (Material Requirements Planning) et comment est né du besoin de synchronisation des quantités disponibles de matières, de composants et de sous-ensembles dans un contexte de délais fixes et de produits stables. L'évolution vers MRP II (Manufacturing Resources Planning) s'est justifiée par le besoin de prendre en compte les capacités des ressources, de production, d'approvisionnement, de sous-traitance, de stockage, de distribution, ... mais également financières. Des décisions d'ajustements sur ces ressources sont prises par anticipation à différents niveaux en tenant compte de leur délai d'application. Ainsi la structure de planification MRP II comprend cinq niveaux de décisions et de planification comme illustré en Fig. 6 :

- Plan Stratégique ;
- Plan Industriel et Commercial (PIC) ;
- Programme Directeur de Production (PDP) ;
- Planification des Besoins en Composants (MRP en anglais) ;
- Pilotage d'atelier.

Fig. 6 Cadre de la structure hiérarchique de planification MRP II.



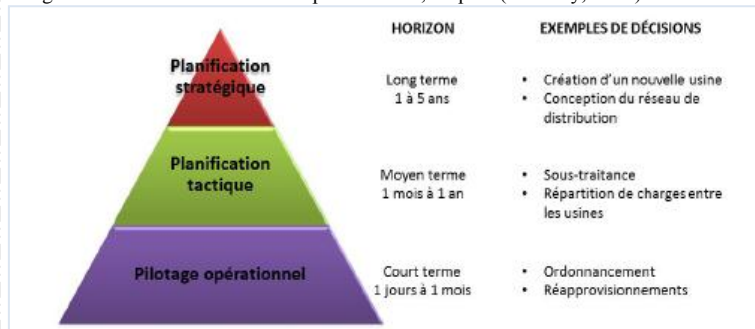
Genin et al., (2001) [3] expliquent aussi comment la PIC adapte en conséquence la disponibilité des ressources sur les sites industriels, en main-d'œuvre, capacité machine, stocks matières, etc.. pour réaliser le plan de ventes dans les dates définies. Si ces objectifs ne peuvent pas être atteints, une décision de sous-traitance peut être prise. Dans certaines chaînes logistiques, le problème de l'affectation des

volumes de distribution entre les différents sites est également traité à ce niveau : l'éventuel transfert de matières, les essais et homologations qualité nécessitent des délais incompressibles qui imposent de prendre ces décisions au moment opportun.

Lim et al. (2014) [25] spécifient le positionnement précis de la PIC dans la hiérarchie des décisions de planification et que son périmètre peut varier d'une étude à l'autre, et dépendent fortement du contexte. Généralement, les décisions de gestion dans une organisation sont hiérarchisées selon les trois niveaux suivants (Anthony, 1965), illustrés dans la Fig. 7. Les frontières entre ces catégories peuvent différer selon le contexte d'étude :

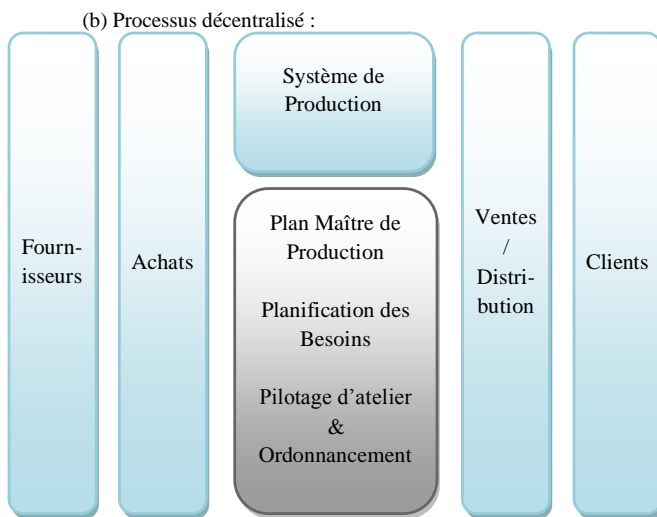
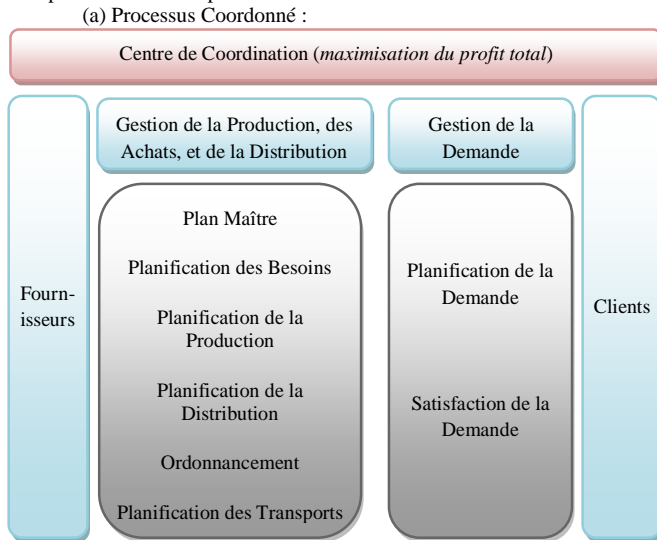
- Le niveau stratégique concerne les décisions sur le long terme pour mener à bien la stratégie de l'entreprise. La planification stratégique se base sur des données agrégées.
- Le niveau tactique englobe les décisions à moyen terme sur l'utilisation des ressources et la planification des activités, à partir d'un niveau plus détaillé que le plan stratégique (famille de produits, maille temporelle plus fine, etc.).
- Le niveau opérationnel inclut les décisions à court terme pour planifier en détails les opérations définies dans le plan de production au niveau de détails le plus fin (produits finis, composants, atelier de production, etc.).

Fig. 7 Hiérarchie des niveaux de planification, d'après (Anthony, 1965).



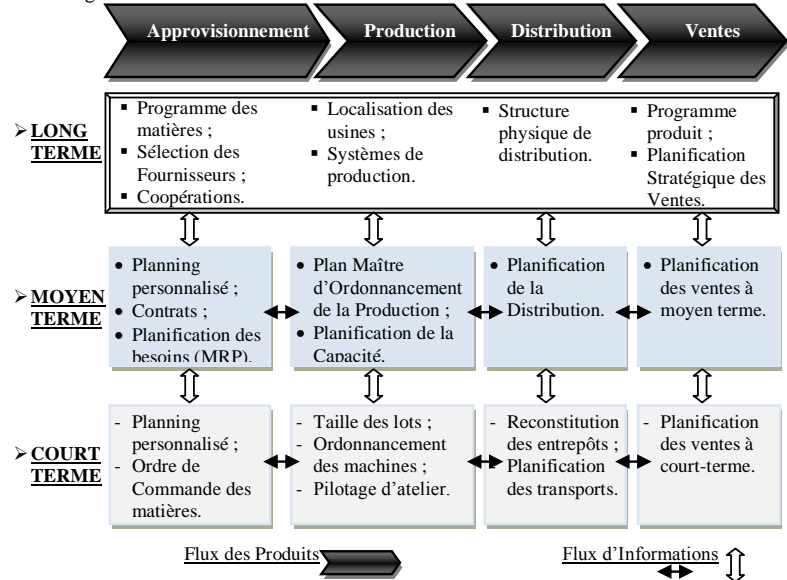
Chen et Chen, (2005) [7] expliquent comment les dernières technologies de fabrication ont permis de renforcer l'interaction fonctionnelle croisée entre la fabrication et la commercialisation tels que système de fabrication flexible (FMS), juste-à-temps (JIT), réponse rapide (QR), les besoins en ressources de production (MRP II), et la planification des ressources d'entreprise (ERP). En dépit de l'aspect croissant des demandes clients, beaucoup de processus de prise de décision production ne prennent pas en compte la nature dynamique du commerce. Ils schématisent deux processus comme illustré en Fig. 8: (a) Un processus de décision coordonné entre le marketing et la planification de la production, (b) Un processus de décision décentralisé entre le marketing et la planification de la production.

Fig. 8 Processus de décision (coordonné et décentralisé) entre le marketing et la planification de la production.



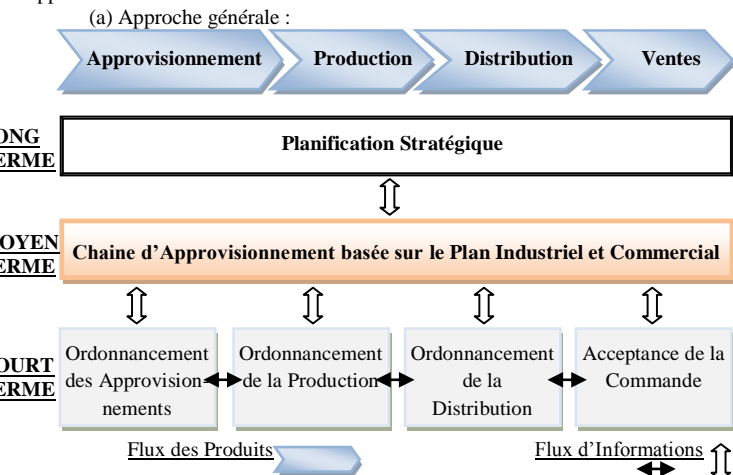
Fleischmann et Meyr, (2003) [6] traitent la matrice de planification de la chaîne logistique (SCP) et donnent un aperçu général sur les tâches de planification au cours de toute la chaîne d'approvisionnement possible comme illustré en Fig. 9. Cependant, selon le type de chaîne d'approvisionnement considérée, l'importance des tâches simples de planification est tout à fait différente. En outre, l'attribution des tâches de planification aux niveaux de planification et les processus de la chaîne d'approvisionnement est quelque peu floue car le positionnement peut aussi varier en fonction du type de chaîne d'approvisionnement.

Fig. 9 Planification des tâches selon la matrice SCP.

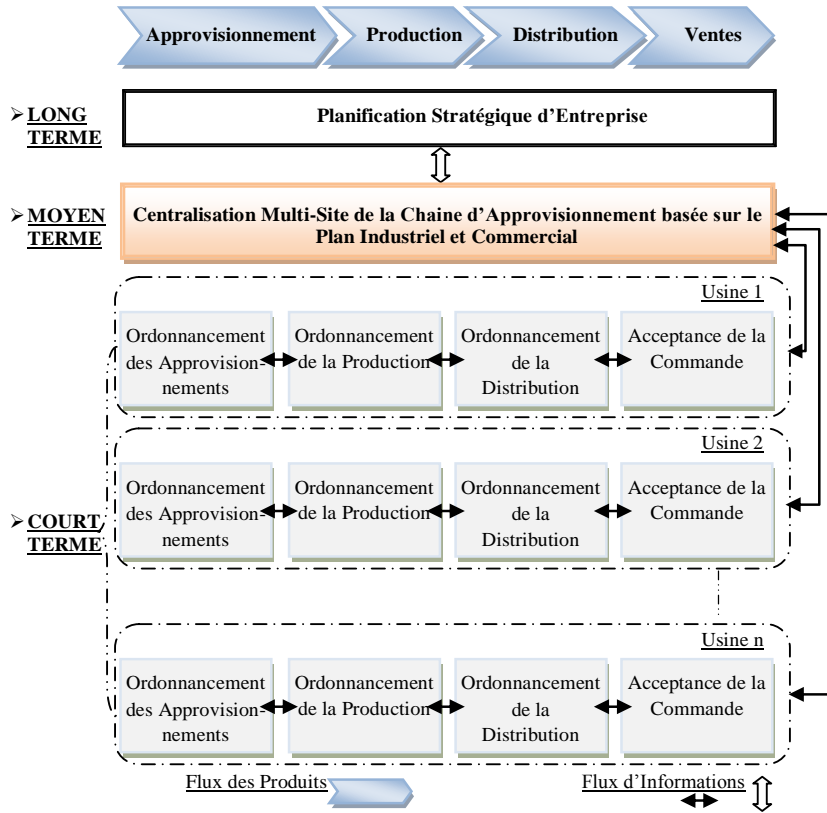


Feng et al., (2008) [9] montrent que même si les concepts de Supply Chain Planning et de PIC sont relativement nouveaux, l'idée d'une planification coordonnée peut être retracée aux années 1960 par Clark et Scarf, qui a étudié les systèmes inventaire / de distribution multi-échelle. Depuis ce temps, la recherche sur la coordination des différentes sections partielles de la chaîne d'approvisionnement a été menée. Cependant, très peu de modèles ont tenté d'aborder l'intégration des ventes, la production, la distribution et l'approvisionnement simultanément. S'appuyant sur ces premiers travaux, ils ont proposé une approche de modélisation (a) pour évaluer la valeur de la PIC avec une extension vers des alternatives multi-sites (b) comme schématisé sur la Fig. 10.

Fig. 10 La PIC intégrée dans le contexte de la planification de la chaîne d'approvisionnement.



(b) Alternatives multi-sites :



Stadtler et Kilger introduisent une approche matricielle pour la structure des systèmes de planification avancés comme illustré en Fig. 11. Il comprend quatre étapes dans la chaîne d'approvisionnement, les achats, la production, la

distribution et les ventes. La structure est valable pour une entreprise individuelle ainsi que pour une chaîne d'approvisionnement entière selon Olhager, (2010) [13].

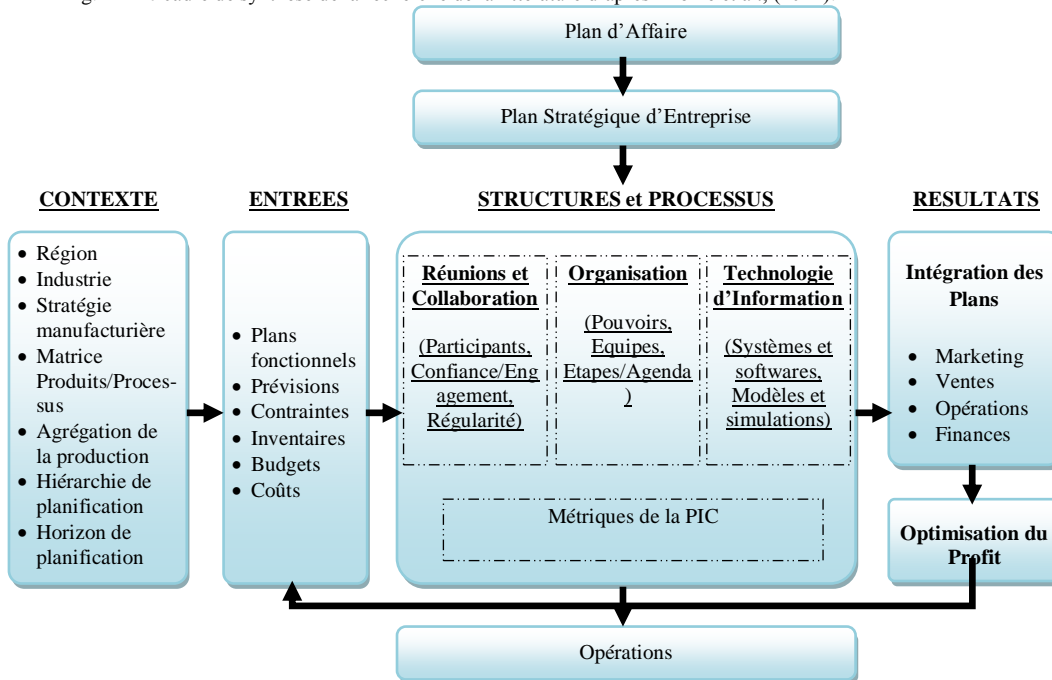
Käki et al., (2013) [22] utilisent le même modèle pour relier les modèles à des processus de planification génériques dans un système typique de planification avancée comme schématisé aussi en Fig. 11.

Fig. 11 La matrice de planification de la chaîne d'approvisionnement (basé sur Stadtler et Kilger 2000) et Modules de planification typiques d'un système de planification avancée (selon Meyr et al. 2002).



Thomé et al., (2012) [20] proposent une plate forme comme schématisé en Fig. 12 résumant les résultats empiriques et regroupant l'ensemble des "descripteurs". Ces descripteurs de l'étude résument les modérateurs ou les effets qui se produisent entre PIC et ses résultats.

Fig. 12 Le cadre de synthèse de la recherche de la littérature d'après Thomé et al., (2012).

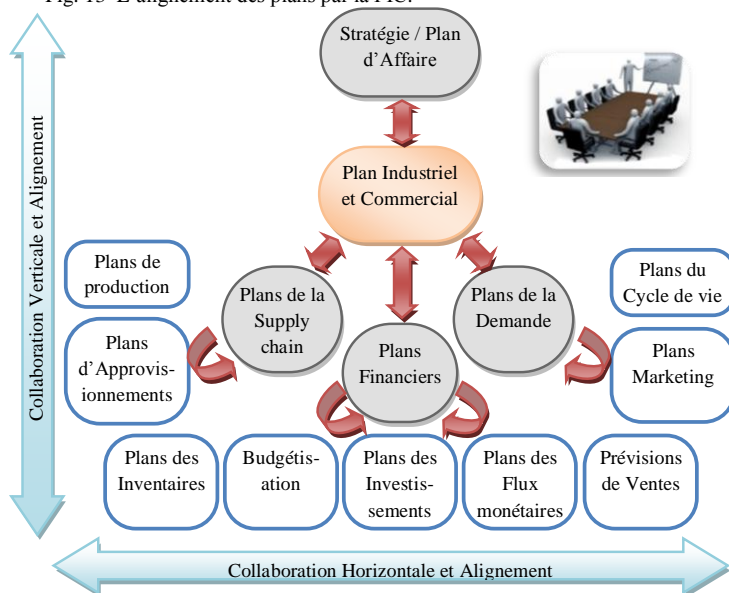


Wagner et al., (2014) [23] expliquent que le but principal de la PIC est : d'élaborer des plans tactiques qui assurent la gestion de la capacité de diriger stratégiquement les entreprises à obtenir un avantage concurrentiel sur une base continue en intégrant des plans de marketing orientés vers le client pour des produits nouveaux et existants avec la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Le processus rassemble tous les plans de l'entreprise (ventes, marketing, développement, fabrication, approvisionnement, et financière) en un ensemble intégré de plans. La Fig. 13 illustre l'alignement vertical et horizontal des différents plans.

Ils enchainent par la PIC comme étant un processus de planification mensuelle, l'examen et l'évaluation continue de générer un ensemble de plans de maximisation du profit intégrant la participation de toutes les parties prenantes clés. Tandis que la performance de l'entreprise est régulièrement revue, afin de diriger stratégiquement l'organisation. Le processus facilite l'envoi de signaux d'alerte précoce lorsque l'offre et la demande sont à risque d'être déséquilibré pour que l'entreprise puisse répondre rapidement à l'évolution des situations de marché et d'exploitation. La PIC se compose de cinq étapes :

- Collecte des données ;
- Planification de la demande ;
- Planification de l'approvisionnement ;
- Pré-Réunion ;
- Réunion d'exécution.

Fig. 13 L'alignement des plans par la PIC.



V. LA PIC ET SYSTÈMES DE PRODUCTION SOUS CONTRAINTES

Le champ de la planification de la production et ou des opérations sous contraintes est un domaine très riche de la recherche puisque ce domaine est vaste et conduit à diverses et de nombreux modèles avec différentes hypothèses et objectifs;

La Tab. II résume les principaux modèles et contraintes discernées suite à la recherche objet de ce document.

TABLEAU II. Principales contraintes trouvées relatives à la PIC.

Référence	Principales idées de la recherche	Méthode de recherche principale	Contraintes relatives à la PIC
Hendrik Van Landeghem et al. (2002) [5]	<ul style="list-style-type: none"> - Planification robuste basée sur l'évaluation des risques de la chaîne d'approvisionnement et de la demande ; - Modèle basé sur la simulation de Monte Carlo ; - Utilisation de l'exemple du jeu de la bière ; - Etude de cas démontrant la valeur de la planification robuste dans une entreprise chimique européenne. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modèle conceptuel • Etude de cas 	<ul style="list-style-type: none"> - Délais fournisseur ; - Qualité fournisseur ; - Rendements de fabrication ; - Temps de transport ; - Coûts ; - Environnement politique ; - Règlements douaniers - La capacité disponible - La disponibilité des sous-traitants - Retards d'informations ; - Demande ; - Les fluctuations de prix.
Jen-Ming Chen et al. (2005) [7]	<ul style="list-style-type: none"> - Proposition de deux politiques de prise de décision, coordonnées et décentralisées, qui déterminent le prix et la production optimale (taille de lot / ordonnancement) pour un article qui se détériore sur un horizon de planification finie ; - Problème formulé comme un modèle de programmation dynamique couplé avec processus itératif de recherche associé à une étude numérique; 	<ul style="list-style-type: none"> • Modèle mathématique • Etude comparative 	<ul style="list-style-type: none"> - Détérioration des articles ; - Etablissement des prix ; - Taille des lots de production ; - Variation de temps de la demande.
Jaya Singhal et al. (2007) [8]	<ul style="list-style-type: none"> - Les travaux pionniers dans les années 50 de l'équipe dirigée par Holt, Modigliani, Muth, et Simon dans la planification de la production intégrée introduite dans un processus d'affaires global connu sous le nom de PIC ; - la planification de la production totale et son rôle central de gestion des opérations en la reliant avec les chaînes logistiques et d'autres fonctions dans l'organisation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revue de littérature 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts ; - Flexibilité ; - Délais de livraison ; - Capacités longue portée ; - Mix-produit ; - Niveaux d'approvisionnement ; - Moment de l'exécution des

			commandes ;
Yan Feng et al. (2008) [9]	<ul style="list-style-type: none"> - Les fondamentaux du processus de la PIC et présente une approche de modélisation pour évaluer son impact avant la mise en œuvre ; - 3 modèles : (1) [SC-S&OP] – Supply Chain basé PIC totalement intégré et centralisé (planification ventes, production, distribution et approvisionnement) ; (2) [SP-S&OP] – Ventes-Production basé PIC dans lequel les ventes et la production sont conjointement centralisés tandis que la distribution et l'approvisionnement sont prévues séparément dans chaque site ; (3) [DP] - Planning Découplé dans lequel la planification des ventes est centralisée tandis que la production, la distribution et la planification des achats sont effectués séparément et localement ; - Les modèles sont développés pour un système de fabrication multi-site qui a différents fournisseurs, produit différents produits et sert différents clients (production à la commande). 	<ul style="list-style-type: none"> • Modèles conceptuels • Modèle mathématique • Etude comparative des modèles • Etude de cas 	<ul style="list-style-type: none"> - Balance des flux (ventes, production, distribution, Approvisionnement) - Capacité de production - Retards des ventes - Temps de la période de planification - Capacité de l'entrepôt (stocks) - Exigences de chargement des camions - Capacité d'expédition des fournisseurs - Capacité d'expédition du site - Stock de sécurité des matières premières - Capacité des stocks des matières premières - Capacité d'approvisionnement en matières premières - Variabilité saisonnière de l'offre - Passation des commandes - Quantité d'achat contractuelle
Chen-Ritzo et al. (2010) [10]	<ul style="list-style-type: none"> - Alignement de la demande et de l'offre dans les systèmes configurer-à-la commande ; - Méthodes de programmation stochastiques (deux modèles stochastiques: un modèle de problème d'explosion et un modèle de problème de l'implosion) ; - Optimisations pratiques pour faire face à la demande incertaine ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Modèles stochastiques • Etude de cas 	<ul style="list-style-type: none"> - Configuration des commandes incertaines - Ecoulement des stocks des composants - Rupture des stocks - Flexibilité des fournisseurs - Ecart des objectifs de vente - Approvisionnements
Thomé et al. (2012) [20]	<ul style="list-style-type: none"> - Revue systématique de littérature relative à la PIC dans l'objectif : (i) Intégrer le travail très dispersé sur la PIC afin d'identifier et d'analyser la PIC comme un processus d'affaires et (ii) Rassembler des preuves quantitatives de son impact sur la performance de l'entreprise ; - Modélisation d'un cadre de travail qui englobe le contexte des informations relatives à la PIC, les entrées et les objectifs, la structure et les processus, les effets, et les résultats. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revue de littérature • Cadre de travail 	<ul style="list-style-type: none"> - Délai d'approvisionnement - la capacité d'offre - Contraintes des fournisseurs - La capacité de production - Niveau de la force de travail - Les ressources opérationnelles - Délais de production - Le temps de production - Flexibilité de production - La capacité de livraison - Délais de livraison - Statut de Transport - La capacité de service - Objectifs de niveau de service - Budgets financiers - Les objectifs financiers
Käki et al. (2013) [22]	<ul style="list-style-type: none"> - Importance de la modélisation de l'incertitude dans les modèles de gestion des risques, illustration par des exemples de la reconstitution des stocks, achats tactiques et planification de la capacité stratégique, qui ont démontré comment les résultats des modèles varient considérablement lorsque les hypothèses de changement de distribution de la demande ; - Montre que les modèles sont sensibles à la forme de la distribution de la demande, non seulement à des paramètres simples tels que la demande prévue ou la variation de la demande: asymétrie, minimum ou limites maximales, ou bimodalité de la demande. 	<ul style="list-style-type: none"> • Etude de cas • Lignes directrices (pour une utilisation efficace des distributions de probabilité dans les modèles de décision pour la gestion des opérations) 	<ul style="list-style-type: none"> - Demande incertaine - Capacité installée - Forme de distribution de la demande - Stocks de sécurité - Coûts d'approvisionnement
Lim et al. (2014) [25]	<ul style="list-style-type: none"> - Problème de PIC sur la base de la situation réelle de Renault, un constructeur automobile mondial français. La question est de trouver le meilleur compromis entre les exigences de vente et contraintes industrielles tout en limitant les stocks, les approvisionnements 	<ul style="list-style-type: none"> • Modèle de simulation 	<ul style="list-style-type: none"> - Demande volatile - Diversité des produits - Fournisseurs distants - Niveau des stocks

	<p>d'urgence et le maintien des délais de livraison raisonnable pour les clients ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une nouvelle méthode de planification (avec un modèle de simulation) fondée sur les taux de flexibilité est présentée. Les taux de flexibilité sont définis pour limiter les commandes d'un type donné de véhicules, pendant une certaine période ; 		<ul style="list-style-type: none"> - Approvisionnements urgents - Délais de livraison - Clients impatientes - Coûts logistiques - Coûts des stocks - Perte des commandes - Taux de flexibilité - Capacité d'acceptation des commandes
Martínez-Costa et al. (2014) [26]	<ul style="list-style-type: none"> - Revue mise à jour sur la planification de la capacité stratégique dans les entreprises manufacturières, avec deux objectifs principaux: (i) pour décrire et analyser les problèmes stratégiques de planification des capacités; et (ii) d'examiner les modèles de programmation mathématique proposées dans la littérature pour faire face à ces problèmes ; - Un cadre de travail pour la planification des capacités est présenté, composé de trois phases principales: la définition du problème (en considérant le contexte, les caractéristiques du système de fabrication et les facteurs spécifiques qui pourraient influencer le processus de prise de décision), la conception du modèle et de la procédure de solution 	<ul style="list-style-type: none"> • Revue de littérature • Cadre de travail 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité des ressources - Equilibre des stocks - Budget limité - Profit de la production - Coûts d'achats - Location de capacité des ressources - Valeur de récupération du matériel vendu - Equilibre entre les stocks et accumulation de retards - Capital disponible pour l'acquisition des ressources - Mise à l'échelle - Cycle de vie du produit - Temps - Equilibre d'expédition - Planification de la distribution
Ponsignon et Mönch (2014) [27]	<ul style="list-style-type: none"> - Application d'un cadre fondé sur la simulation qui permet de modéliser le comportement de la demande du marché et le système de production afin d'étudier la performance des deux approches heuristiques pour résoudre les problèmes de la Planification Tactique dans la fabrication de semi-conducteurs ; - Un algorithme génétique et une procédure d'attribution fondé sur des règles est évaluée dans un contexte d'horizon roulant tout en tenant compte de la demande et de l'exécution d'incertitude. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadre de travail basée sur la simulation 	<ul style="list-style-type: none"> - Limites de capacité (goulots d'étranglement des centres de travail) - Commandes fermes non satisfaites - Satisfaction des réservations d'approvisionnement - Niveau des stocks - Coûts fixes de production - Prévisions de demande supplémentaire
Staeblein et Aoki (2015) [28]	<ul style="list-style-type: none"> - Comparaison du système d'exécution des commandes des constructeurs automobiles allemands et japonais comme un échantillon de pratiques industrielles afin d'améliorer la compréhension de la façon dont la variété des produits, les conditions de fabrication et de pratiques managériales interagissent avec les fonctions de planification et d'ordonnement d'une entreprise ; - Deux études de cas en profondeur chez deux constructeur automobile; un allemand et un japonais, pour cartographier les fonctions de planification et d'ordonnement au long du processus de traitement des commandes. En outre, ces résultats ont été reliés avec des sources de données secondaires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête • Cadre de travail • Etude de cas 	<ul style="list-style-type: none"> - NA

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette revue de la littérature nous a permis d'analyser et de résumer en termes de point de vue de concepts et modèles sous contraintes l'état de l'art existant sur la PIC.

La catégorisation des articles a révélé une augmentation dans le nombre d'articles publiés au cours des dernières années. Cela indique les défis dont les entreprises doivent relever en termes de changements de la demande et adaptation de l'offre en conséquence.

Nous avons passé en revue les principaux concepts relatifs à la PIC ainsi que son positionnement dans la hiérarchie des décisions de planification et que son

périmètre peut varier d'une étude à l'autre, et dépendent fortement du contexte.

Certains auteurs montrent que même si les concepts de Supply Chain Planning et de la PIC sont relativement nouveaux, l'idée d'une planification coordonnée peut être retracée aux années 1960...

D'autres concepts montrent que le but principal de la PIC est d'élaborer des plans tactiques qui assurent la gestion de la capacité de diriger stratégiquement les entreprises à obtenir un avantage concurrentiel sur une base continue en intégrant les différents plans de l'entreprise (ventes, marketing, développement, fabrication, approvisionnement,

et financière) en un ensemble intégré verticalement et horizontalement.

Dans une seconde phase nous avons synthétisé les principales contraintes décrites dans les modélisations de la PIC, ainsi nous avons observé la variété et multitudes de ces contraintes tenant compte aussi des études et du contexte.

Cette revue de littérature nous a permis d'identifier la PIC comme étant un phénomène complexe qui pourraient bénéficier de la recherche académique, notamment des études empiriques et modélisations spécifiques en profondeur. Notre objectif par la suite est d'étayer encore la recherche en ce domaine en explorant d'avantage de pistes et de bases de recherche. Ensuite nous procéderons à un développement et une modélisation basée sur la simulation-optimisation d'une problématique de PIC soumis à différents type de contraintes...

References

- [1] Mark J. Euwe, Hans Wortmann, Planning systems in the next century (I), *Computers in Industry*, Volume 34, Issue 2, November 1997, Pages 233-237
- [2] Jan Olhager, Martin Rudberg, Joakim Wikner, Long-term capacity management: Linking the perspectives from manufacturing strategy and sales and operations planning, *International Journal of Production Economics*, Volume 69, Issue 2, 25 January 2001, Pages 215-225
- [3] Genin P., Thomas A., Lamouri S., « La planification tactique dans le contexte des ERP / APS », *Conception et Production Intégrées : CPI'2001*, Fès 24-26 oct. 2001, n°088, 2001, p.1-13
- [4] Manoj K. Malhotra, Subhash Sharma, Spanning the continuum between marketing and operations, *Journal of Operations Management*, Volume 20, Issue 3, June 2002, Pages 209-219
- [5] Hendrik Van Landeghem, Hendrik Vanmaele, Robust planning: a new paradigm for demand chain planning, *Journal of Operations Management*, Volume 20, Issue 6, November 2002, Pages 769-783
- [6] Bernhard Fleischmann, Herbert Meyr, Planning Hierarchy, Modeling and Advanced Planning Systems, In: S.C. Graves, and A.G. de Kok, Editor(s), *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Elsevier, 2003, Volume 11, Pages 455-523
- [7] Jen-Ming Chen, Liang-Tu Chen, Pricing and production lot-size/scheduling with finite capacity for a deteriorating item over a finite horizon, *Computers & Operations Research*, Volume 32, Issue 11, November 2005, Pages 2801-2819
- [8] Jaya Singhal, Kalyan Singhal, Holt, Modigliani, Muth, and Simon's work and its role in the renaissance and evolution of operations management, *Journal of Operations Management*, Volume 25, Issue 2, March 2007, Pages 300-309
- [9] Yan Feng, Sophie D'Amours, Robert Beauregard, The value of sales and operations planning in oriented strand board industry with make-to-order manufacturing system: Cross functional integration under deterministic demand and spot market recourse, *International Journal of Production Economics*, Volume 115, Issue 1, September 2008, Pages 189-209
- [10] Ching-Hua Chen-Ritzo, Tom Ervolina, Terry P. Harrison, Barun Gupta, Sales and operations planning in systems with order configuration uncertainty, *European Journal of Operational Research*, Volume 205, Issue 3, 16 September 2010, Pages 604-614
- [11] Ö. Yurt, C. Mena and G. Stevens, Sales and operations planning for the food supply chain: case study, In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, edited by Carlos Mena and Graham Stevens, Woodhead Publishing, 2010, Pages 119-140
- [12] Ely Laureano Paiva, Manufacturing and marketing integration from a cumulative capabilities perspective, *International Journal of Production Economics*, Volume 126, Issue 2, August 2010, Pages 379-386
- [13] Jan Olhager, The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management, *Computers in Industry*, Volume 61, Issue 9, December 2010, Pages 863-868
- [14] Paul Goodwin, Dilek Önkal, Mary Thomson, Do forecasts expressed as prediction intervals improve production planning decisions?, *European Journal of Operational Research*, Volume 205, Issue 1, 16 August 2010, Pages 195-201
- [15] Erma Suryani, Shuo-Yan Chou, Rudi Hartono, Chih-Hsien Chen, Demand scenario analysis and planned capacity expansion: A system dynamics framework, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Volume 18, Issue 6, June 2010, Pages 732-751
- [16] Peter Nielsen, Izabela Nielsen, Kenn Steger-Jensen, Analyzing and evaluating product demand interdependencies, *Computers in Industry*, Volume 61, Issue 9, December 2010, Pages 869-876
- [17] Rogelio Oliva, Noel Watson, Cross-functional alignment in supply chain planning: A case study of sales and operations planning, *Journal of Operations Management*, Volume 29, Issue 5, July 2011, Pages 434-448
- [18] Inneke Van Nieuwenhuysse, Liesje De Boeck, Marc Lambrecht, Nico J. Vandaele, Advanced resource planning as a decision support module for ERP, *Computers in Industry*, Volume 62, Issue 1, January 2011, Pages 1-8
- [19] Daniel Rexhausen, Richard Pibernik, Gernot Kaiser, Customer-facing supply chain practices—The impact of demand and distribution management on supply chain success, *Journal of Operations Management*, Volume 30, Issue 4, May 2012, Pages 269-281
- [20] Antônio Márcio Tavares Thomé, Luiz Felipe Scavarda, Nicole Suella Fernandez, Annibal José Scavarda, Sales and operations planning: A research synthesis, *International Journal of Production Economics*, Volume 138, Issue 1, July 2012, Pages 1-13
- [21] Jan Olhager, Pontus Johansson, Linking long-term capacity management for manufacturing and service operations, *Journal of Engineering and Technology Management*, Volume 29, Issue 1, January–March 2012, Pages 22-33
- [22] Anssi Käksi, Ahti Salo, Srinivas Talluri, Impact of the shape of demand distribution in decision models for operations management, *Computers in Industry*, Volume 64, Issue 7, September 2013, Pages 765-775
- [23] Stephan M. Wagner, Kristoph K.R. Ullrich, Sandra Transchel, The game plan for aligning the organization, *Business Horizons*, Volume 57, Issue 2, March–April 2014, Pages 189-201
- [24] Nina Tuomikangas, Riikka Kaipia, A coordination framework for sales and operations planning (S&OP): Synthesis from the literature, *International Journal of Production Economics*, Volume 154, August 2014, Pages 243-262
- [25] Lâm Laurent Lim, Gülgün Alpan, Bernard Penz, Reconciling sales and operations management with distant suppliers in the automotive industry: A simulation approach, *International Journal of Production Economics*, Volume 151, May 2014, Pages 20-36
- [26] Carme Martínez-Costa, Marta Mas-Machuca, Ernest Benedito, Albert Corominas, A review of mathematical programming models for strategic capacity planning in manufacturing, *International Journal of Production Economics*, Volume 153, July 2014, Pages 66-85
- [27] Thomas Ponsignon, Lars Mönch, Simulation-based performance assessment of master planning approaches in semiconductor manufacturing, *Omega*, Volume 46, July 2014, Pages 21-35
- [28] Thomas Staebelin, Katsuki Aoki, Planning and scheduling in the automotive industry: A comparison of industrial practice at German and Japanese makers, *International Journal of Production Economics*, Volume 162, April 2015, Pages 258-272

Etude comparative des problèmes d'ordonnancement des ateliers de type « Flowshop hybride »

Ghita Lebbar, Abdellah El Barkany, Abdelouahhab Jabri

Laboratoire Génie Mécanique,

Faculté des Sciences et Techniques,

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah

BP 2202-Route d'Imouzzer-FES-MAROC

ghitaebbar.gl@gmail.com, a_elbarkany2002@yahoo.fr, abdelouahhab.jabri@gmail.com

Résumé— Cet article portera dans un premier temps sur les caractéristiques d'ordonnancement des systèmes flexibles de production, et plus précisément, les systèmes de type flowshop hybride représentant des structures intéressantes pour la modélisation de plusieurs problèmes issus du monde industriel. Par la suite, nous allons focaliser notre attention sur les principales méthodes de résolution des problèmes d'ordonnancement, tout en présentant dans ce qui suit les travaux développés pour les systèmes précités. Dans un dernier temps, une analyse comparative sera effectuée pour dégager des idées fondamentales menant à adopter une approche efficace capable de produire une solution optimale en un temps de calcul raisonnable.

Mots clefs— Ordonnancement, flowshop hybride, contraintes, critères, optimisation.

I. INTRODUCTION

En vue de relever le défi de la performance et de la compétitivité dans un environnement économique, les organisations sont de plus en plus amenées à s'adapter et accroître leur réactivité vis-à-vis du marché afin de garantir leur pérennité. Dans cette perspective de perfectionnement, la recherche d'un ordonnancement capable d'obtenir la production de biens dans un délai acceptable en tenant compte des différentes contraintes, s'avère décisive pour réduire le coût de production et augmenter le gain de l'entreprise.

On dit qu'on a affaire à un problème d'ordonnancement lorsque : « on doit programmer l'exécution d'une réalisation en attribuant des ressources aux tâches en fixant leurs dates d'exécution » [1] tout en optimisant au mieux un ou plusieurs critères. Plusieurs efforts ont été menés pour aborder les différents problèmes d'ordonnancement. Le premier étant l'article de [2], dans lequel l'auteur a montré que le problème d'optimisation du critère adopté makespan du problème flowshop à deux machines est polynomial. Au-delà de deux machines, le flowshop est un problème NP-difficile. En réalité, les unités de production utilisent rarement une ou deux machines à chaque poste pour exécuter une opération. La chaîne de production est constituée d'une série de postes. Cette duplication des machines à chaque poste a pour but d'accroître la flexibilité et l'efficacité de la chaîne de production [3].

L'objectif de cet article est de présenter une revue de littérature sur les références ayant, abordé, analysé et développé

les problèmes d'ordonnancement des ateliers de type flowshop hybride en proposant une notation homogène permettant d'identifier clairement le problème dans la première partie. La deuxième partie portera sur les différentes approches de résolution, la méthodologie de recherche adoptée et sur un tableau de synthèse regroupant l'ensemble des travaux déjà traités dans la littérature aboutissant à une analyse comparative, menant à déterminer des pistes de recherches futures.

II. CONCEPTS ET DÉFINITIONS DES PROBLÈMES D'ORDONNANCEMENT

A. Atelier flowshop hybride

Dans un problème d'ordonnancement de type flow shop simple, chaque poste de travail est constitué d'une seule machine [4]. Si un poste au moins comporte plus d'une machine, nous parlons alors du flowshop flexible ou flowshop hybride [5]. Ainsi, un flowshop flexible n'est qu'une généralisation du concept de flowshop simple. Il est défini d'après [6] par un ensemble de N jobs, $J = \{J_1, J_2, \dots, J_N\}$, qui doit être traité dans un atelier de production composé de K étages, $E = \{E_1, E_2, \dots, E_K\}$. Chaque étage E_k contient M_k machines parallèles, avec ($k = 1, 2, \dots, K$). Tous les jobs exigent le même ordre des opérations, $O_i = \{O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{ik}\}$. L'opération O_{ik} a besoin d'un temps d'exécution P_{ik} sur l'étage $E_k \in E$.

B. Notations

Pour des raisons de clarté, adopter une terminologie regroupant les notations actuelles, permettant d'identifier rapidement un problème d'ordonnancement donné, reste une étape nécessaire. La notation la plus répandue dans un problème d'ordonnancement est celle de [7]. Elle est basée sur la concaténation de trois champs distincts $\alpha | \beta | \gamma$.

Le champ α dépend de quatre paramètres que l'on peut représenter de la manière suivante $\alpha = \alpha_1 \alpha_2, ((\alpha_3 \alpha_4^{(k)})_{k=1}^{\alpha_2})$. Le premier paramètre α_1 permet de décrire l'environnement manufacturier, il prend la valeurs (FH) qui correspond respectivement aux ateliers flowshop hybride. Le deuxième α_2 indique le nombre de machines. Il prend les valeurs (ϕ : nombre de machine est quelconque) et (1, 2, 3, etc. : le nombre de machine est égal à 1, 2, 3, etc.). Le troisième et les quatrièmes paramètres α_3 et α_4 sont utilisés autant de fois qu'il y a

d'étages, α_3 est égal à ϕ s'il n'y a qu'une machine, à P s'il s'agit d'un problème à machines parallèles identiques, à Q s'il s'agit d'un problème à machines parallèles proportionnelles et à R si c'est un problème à machine parallèles quelconques. Le nombre de machine à l'étage k, $M^{(k)}$ est indiqué généralement dans α_4 .

Le champ β possède une forme générique qui peut être notée $\beta = \beta_1 \beta_2 \dots \beta_n$. Il permet de définir l'ensemble des contraintes concernant les jobs prises en compte. Les contraintes les plus répandues dans la littérature sont :

- Permu indique que les travaux sont traités dans chaque étape dans le même ordre.
- Prec indique qu'il y a des contraintes quelconques entre les opérations.
- ri lorsque les travaux ont des dates de disponibilité différentes.
- block indique que l'atelier dispose d'une zone de stockage de capacité limitée entre chaque machine, ce qui peut conduire à des blocages sur les machines.
- Snsd (Snsd) indique qu'il y a un temps de réglage avant le traitement de chaque opération, ces temps dépendent de la séquence des opérations sur chaque machine.
- Batch pour laquelle les opérations peuvent être regroupées en paquets lors de leurs exécutions.
- No-wait signifie que pour un job, dès qu'une de ses opérations est achevée, l'opération suivante commence.
- Recrc pour laquelle le travail peut être amené à utiliser plusieurs fois la même machine.
- Rsd (Rnsd) indique qu'il y a un le temps de réglage après le traitement de chaque opération, ces temps dépendent de la séquence des opérations sur chaque machine.
- Pmtn indique que les opérations peuvent être interrompues pour être reprise ultérieurement sur une autre machine.

Le champ γ correspond classiquement aux critères de performances à optimiser, le Tableau 1 présente l'ensemble des critères adopté dans la littérature pour la résolution des problèmes d'ordonnancement.

Critères de performance	Significations	Critères de performance	Significations
C_i	Temps de réalisation du travail	$L_i = C_i - d_i$	Retard algébrique du travail
$\sum C_i$	Temps total de réalisation du travail	$\sum L_i$	Retard algébrique total du travail
C_{max}	Makespan	L_{max}	Maximum des retards algébriques
$\bar{C} = \sum C_i / n$	Temps moyen de réalisation du travail	$\bar{L} = \sum L_i / n$	Retard algébrique moyen
$C^w = \sum w_i C_i$	Temps total pondéré de réalisation du travail	$L^w = \sum w_i L_i$	Retard algébrique total pondéré

$\bar{C}^w = \sum w_i C_i / n$	Temps moyen pondéré de réalisation du travail	$\bar{L}^w = \sum w_i L_i / n$	Retard algébrique moyen pondéré
$E_i = \max(d_i - C_i, 0)$	Temps d'avancement du travail	$T_i = \max(C_i - d_j, 0)$	Retard absolu du travail
$\sum E_i$	Temps total d'avancement du travail	$\sum T_i$	Retard absolu total du travail
E_{max}	Maximum des avances	T_{max}	Maximum des retards absolus
$\bar{E} = \sum E_i / n$	Temps moyen d'avancement du travail	$\bar{T} = \sum T_i / n$	Retard absolu moyen
$E^w = \sum w_i E_i$	Temps total pondéré d'avancement du travail	$T^w = \sum w_i T_i$	Retard absolu total pondéré
$\bar{E}^w = \sum w_i E_i / n$	Temps moyen pondéré d'avancement du travail	$\bar{T}^w = \sum w_i T_i / n$	Retard absolu moyen pondéré
F_i	Temps de séjour	$\sum U_i$	Nombre des travaux en retard
$\sum F_i$	Temps total de séjour	$\bar{U} = \sum U_i / n$	Nombre moyen des travaux en retard
F_{max}	Maximum des temps de séjour	$\bar{U}^w = \sum w_i U_i / n$	Nombre moyen pondéré des travaux en retards
$\bar{F} = \sum F_i / n$	Temps moyen de séjour	W_i	Temps d'attente
$F^w = \sum w_i F_i$	Temps total pondéré de séjour	$\sum W_i$	Temps total d'attente
$\bar{F}^w = \sum w_i F_i / n$	Temps moyen pondéré de séjour	W_{max}	Maximum des temps d'attente
I	Temps d'inactivité	$\bar{W} = \sum W_i / n$	Temps moyen d'attente
MIT	Temps total d'inactivité	$W^w = \sum w_i W_i$	Temps total d'attente pondéré
Z_{cost}	Coût d'ordonnancement	$\bar{W}^w = \sum w_i W_i / n$	Temps d'attente moyen pondéré

Tab. 1. Configurations du champ γ

III. MÉTHODES DE RÉOLUTION

Plusieurs approches de résolution ont été élaborées pour traiter les différents problèmes d'ordonnancement, et ce dans différents type d'environnement de programmation. Les méthodes de résolution des problèmes d'ordonnancement peuvent être classées en :

Méthodes exactes : Ces méthodes donnent une garantie de trouver la solution optimale pour une instance de taille finie dans un temps limité et de prouver son optimalité [8]. Parmi les méthodes exactes, la méthode de séparation et évaluation est la plus utilisée. Plus connue sous son appellation anglaise Branch and Bound (B&B) [9], elle repose sur une méthode arborescente de recherche d'une solution optimale par séparation et évaluation, en représentant les états de solutions par un arbre d'états, avec des nœuds et des feuilles.

Heuristiques : Une heuristique est un algorithme approché permettant d'identifier en temps polynomial au moins une solution réalisable rapide, pas obligatoirement optimale. L'usage d'une heuristique est efficace pour calculer une solution approchée d'un problème donné. Ainsi, Nous distinguons:

- Les heuristiques constructives qui génèrent des solutions à partir d'une solution initiale en essayant d'en ajouter petit à petit des éléments jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue.
- Les heuristiques à améliorations locales qui démarrent avec une solution initialement complète, et de manière répétitive essayent d'améliorer cette solution en explorant son voisinage.
- Les méta-heuristiques représentant des algorithmes d'optimisation visant à résoudre des problèmes d'optimisation difficiles pour lesquels on ne connaît pas de méthodes classiques plus efficaces. Ces approches connaissent un grand succès en théorie d'ordonnement, qui s'explique par leur capacité à fournir des solutions proches de l'optimum, en des temps raisonnables. Elles représentent généralement des algorithmes stochastiques itératifs, qui progressent vers un optimum global. Les méta-heuristiques peuvent être classées selon plusieurs manières. Nous pouvons distinguer celles qui œuvrent avec une population de solutions de celles qui ne manipulent qu'une seule solution à la fois. La figure 1 schématise les différentes classes des méta-heuristiques.

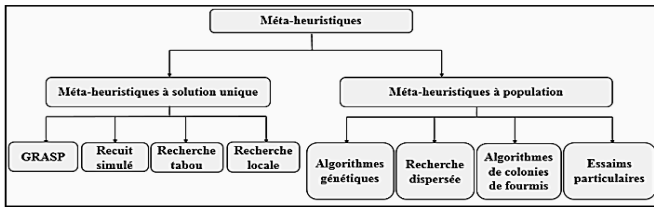


Fig. 1. Différentes approches des méta-heuristiques

IV. MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Dans la perspective d'établir une bibliographie générale et complète sur la résolution des problèmes d'ordonnement des ateliers de type flowshop et flowshop hybride soumis simultanément à différentes contraintes, plusieurs bases de données ont été examinées notamment : DOAJ, Open J-Gate, IEEE Xplore, Science Direct, Web of Knowledge, Taylor et Francis Online, Springer, Elsevier, IOP science et Scopus. Cependant, comme toutes les bases de données bibliographiques reposent sur un langage documentaire qui fonctionne en mots-clés, le choix de ces mots-clés ou des descripteurs correspondants aux problèmes considérés reste une des étapes essentielles de la recherche. En effet, les mots-clés qui ont été utilisés sont : flowshop, ordonnancement, monocritère, multicritère, optimisation, mono-objectif, multi-objectif et contraintes. Outre que, plusieurs combinaisons des descripteurs précités ont également été élaborées afin de rendre les résultats plus pertinents.

La littérature retenue (222 documents) est répartie dans une bonne proportion en articles à caractère scientifique, en articles

provenant de professionnels de l'industrie et en quelques thèses de doctorat. Une examination soigneuse nous a permis de trouver 48 documents pour les problèmes d'atelier de type flowshop.

V. REVUE DE LITTÉRATURE DES PROBLÈMES D'ORDONNANCEMENT DES ATELIERS DE TYPE FLOWSHOP HYBRIDE

Du moment où les problèmes d'ordonnement d'atelier de type flowshop hybride ont attiré beaucoup d'attention compte tenu de leurs complexités, comme le montre la figure 2, le nombre de publications augmente graduellement au cours des dernières décennies.

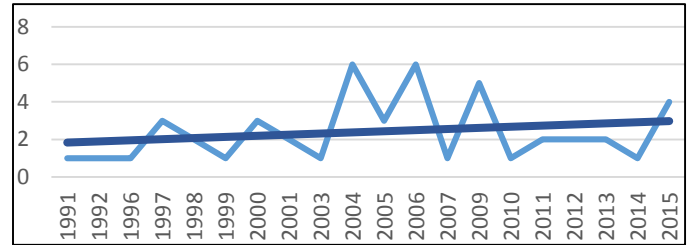


Fig. 2 : Evolution de publications des problèmes flowshop hybride

Cette section décrit clairement la principale évolution des travaux menés en théorie d'ordonnement de l'atelier flowshop hybride et présente les méthodes de résolution adoptées dans une forme facilement accessible dans le tableau 3. Le tableau 2 regroupe l'ensemble des abréviations des méthodes exactes et approchées que nous allons utiliser.

Abbréviations	Approches
B&B	Branch and Bound
SA	Simulated Annealing
GRASP	Greedy Randomized Adaptive Search Procedures
TS	Tabu Search
LS	Local Search
GA	Genetic Algorithm
ACO	Ant Colony Optimization
PSO	Particle Swarm Optimization

Tab. 2. Abréviations des différentes approches de résolution

A. Analyse et discussion

Concernant l'environnement manufacturier considéré dans la littérature pour les problèmes d'atelier de type flowshop hybride. L'analyse du tableau de synthèse (tab 3) a permis d'affirmer que dans la majorité des travaux, les machines parallèles identiques sont les plus adoptées. Dans quatre travaux, les machines parallèles quelconques ont été traitées. Alors qu'aucun document n'a été trouvé pour le développement des méthodes de résolution des problèmes de type flowshop hybride avec machines parallèles proportionnelles. Pour le nombre de machines adopté, il est clair qu'un grand pourcentage des documents examinés considère le problème à m-machines vu que c'est le cas le plus général et donc le plus susceptible d'être trouvé dans la pratique.

Approches	Problèmes	Références
B&B	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[10]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Permu F$	[11]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) \sum Ci$	[12]
	$FH2, (PM^{(1)}, I^{(2)}) Cmax$	[13]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[14]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) T^w$	[15]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[16]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[17]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[18]
	$FH2, (I^{(1)}, PM^{(2)}) \sum Ti$	[19]
	$FH2, (I^{(1)}, P2^{(2)}) Cmax$	[20]
	$FH2, (I^{(1)}, PM^{(2)}) Avail Cmax$	[21]
	$FH2, ((PM^{(k)})_{k=1}^2) Cmax$	[22]
	$FH2, ((PM^{(k)})_{k=1}^2) \sum Ui$	[23]
$FH2, (I^{(1)}, PM^{(2)}) No - wait Cmax$	[24]	
SA	$FHm, ((RM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[25]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[26]
	$FHm, ((RM^{(k)})_{k=1}^m) Snsd, Rnsd \sum Fi$	[27]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) C$	[28]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[29]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) ri T^w, E^w, W^w$	[30]
	$FH2, ((PM^{(2)})_{k=1}^2) \sum Ui$	[23]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Snsd Cmax, Tmax$	[31]
$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[32]	
TS	$FH2, ((PM^{(k)})_{k=1}^2) Cmax$	[33]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) block Cmax$	[34]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) prec Cmax$	[35]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) block Cmax$	[36]
	$FH3, ((PM^{(k)})_{k=1}^3) block, prec, Snsd Cmax$	[37]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Snsd Cmax$	[38]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) ri T^w, E^w, W^w$	[30]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[32]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Snsd Cmax$	[39]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[40]
LS	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) T^w$	[41]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[26]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) block Cmax$	[42]
GA	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) F$	[43]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[44]
	$FHm, ((RM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[45]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) recrc U^w$	[46]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Snsd Cmax$	[47]
	$FH2, (I^{(1)}, P2^{(2)}) Cmax$	[20]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) \sum Ci$	[48]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) ri Cmax, Tmax, T^w, C^w$	[49]
	$FH2, ((RM^{(k)})_{k=1}^2) Pmtn Cmax$	[50]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) batch Cmax$	[51]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Snsd, Block Cmax, Tmax$	[52]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) \sum Ui$	[53]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[54]
	$FH2, ((PM^{(2)})_{k=1}^2) No - wait Cmax$	[55]
	$FHm, ((PM^{(m)})_{k=1}^m) Snsd Cmax, \sum Ti$	[56]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) block, ri Cmax$	[57]
$FH2, ((PM^{(2)})_{k=1}^2) block, recrc Cmax$	[58]	
$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Snsd, permu Cmax$	[59]	
PSO	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Cmax$	[32]
	$FH2, ((PM^{(2)})_{k=1}^2) block, recrc Cmax$	[58]
	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) Snsd, permu Cmax$	[59]
ACO	$FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) block, ri Cmax$	[57]

Tab. 3. Synthèse des travaux traitant les problèmes d'ordonnancement de type flowshop hybride

A propos des contraintes prises en compte lors de la résolution des problèmes d'ordonnancement d'atelier de type flowshop hybride, nous avons trouvé après examination 31 documents qui correspondent à 57,41 % de la totalité traitant les problèmes d'ordonnancement d'atelier flow shop hybrides sous différents type de contraintes , à savoir :

- Le temps de réglage S_{nsd} a été discuté dans 9 documents, il représente la contrainte la plus adoptée dans la littérature pour les ateliers précités.
- La contrainte de blocage a été abordée dans 7 documents.
- La contrainte de permutation, No-wait, de précédence et celle de recirculation, chacune apparaît dans 2 documents.
- La contrainte batch, R_{nsd} , Avail et celle de préemption sont présentes chacune dans un seul document.
- La contrainte r_i a été abordée dans 3 travaux.

Au sujet des critères de performances pris en considération, comme le précise la figure 3, il est évident que le makespan C_{max} est le plus souvent étudié dans la littérature, il apparaît dans 37 documents qui correspondent à un pourcentage de 68,52 %. Quant au temps moyen de séjour \bar{F} , il se manifeste dans 3,7% des documents trouvés .Idem pour le temps total de réalisation du job $\sum C_i$, le temps total du retard absolu $\sum T_i$, le maximum des retards absolus T_{max} et le nombre des jobs en retard $\sum U_i$. Vient ensuite, le temps moyen pondéré de réalisation du job \bar{C}^w , le temps total de séjour $\sum F_i$, le temps total d'attente pondéré W^w , le retard total absolu pondéré T^w , le retard moyen absolu pondéré \bar{T}^w , Temps total pondéré d'avancement du travail E^w et le nombre moyen pondéré des jobs en attente \bar{U}^w qui apparaissent chacun dans 1,85% de la documentation trouvée.

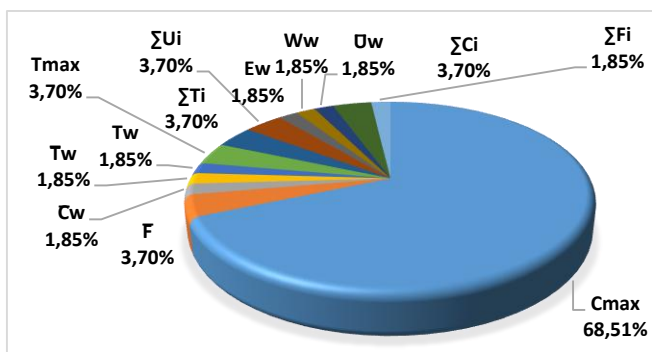


Fig. 3. Pourcentage des critères de performance adoptés dans la littérature

Relativement aux méthodes de résolution, L'analyse a permis de déceler que la méthode de séparation et d'évaluation B&B représente un pourcentage de 25,42%, la méthode des algorithmes génétiques s'approprie la part de 30,5%, celle de recuit simulé requière un pourcentage de

15,25%, la recherche tabou représente une ration de 16,94%, La recherche locale apparaît dans 5,08 % des documents trouvés, idem pour la méthode des essais particuliers. Vient finalement la méthode de colonies de fourmi qui a été développée dans 1,69% de la littérature. La figure 4 montre le pourcentage de publications par type de méthodes de résolution adoptées pour les problèmes de type flowshop hybride.

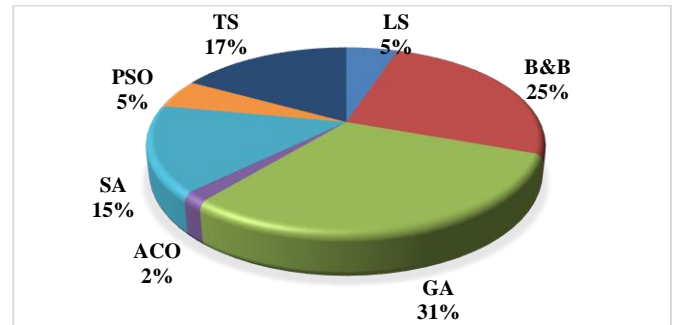


Fig. 4. Pourcentage de publications par type de méthodes de résolution adoptées

VI. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cet article gravite autour d'une vue globale de la résolution des problèmes d'ordonnancement d'atelier de type flowshop hybride. Notant bien que ces problèmes suscitent l'attention de nombreux chercheurs vu leurs complexités, ces derniers ont été développés dans un nombre considérable de documentation trouvée dans la littérature chiffré à 222 articles qui ont été examinés et analysés en détail en qualité du type d'atelier, des critères adoptés, des contraintes prises en compte et des méthodes de résolutions établies. Engendrant l'identification de 48 articles pertinents pour les problèmes d'ordonnancement d'atelier de type flowshop hybride.

Pratiquement, les résultats de l'analyse confirment que, concernant l'environnement manufacturier, pour le problème flowshop hybride, la totalité des efforts menés considèrent le problème à m-machines identiques parallèles, étant donné qu'ils représentent les cas envisageables dans la pratique. Ainsi, au sujet des critères de performances, le makespan C_{max} occupe la grande part des critères abordés dans le développement des méthodes de résolution des problèmes précités. Egalement, la majorité des documents trouvés prennent en considération des contraintes de réalisation des jobs, pour le problème flowshop hybride, la contrainte du temps de réglage et celle de blocage sont au sommet. Quant aux méthodes de résolution, la méthode de B&B et celle des algorithmes génétiques sont les plus utilisées.

Dans cette perspective, nous allons nous focaliser dans notre future recherche sur la résolution des problèmes $FHm, ((PM^{(k)})_{k=1}^m) || block, S_{nsd} | C_{max}$, en combinant judicieusement la méthode de B&B et la méthode des algorithmes génétiques. Ce biais de coopération Méta /Exacte est considéré comme un moyen d'augmenter la puissance de calcul, d'accélérer le traitement et de raffiner les résultats. Ce

qui permet de mettre en évidence la fiabilité et la robustesse de l'analyse que nous avons effectuée.

Références

- [1] J. Carlier et P. Chrétienne. 'Problèmes d'ordonnement, Modélisation, Complexité, Algorithmes'. Edition Masson, Paris. 1988.
- [2] S. M. Johnson, 'Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included', *Naval Research Logistics Quarterly*. Vol.1 No.1, pp. 61-68, 1954.
- [3] A.El Awady, K. H. Edi and P. Duquenne., 'Flexible resources allocation techniques: characteristics and modelling ', *Int. J. Operational Research*, Vol. 14, No 2, 2012.
- [4] Campbell, H.G., Dudek, R.A., and Smith. M.L.'a heuristic algorithm for the n-job, M-machine sequencing problem', *Management Science*. Vol.16/B, pp. 630-637, 1970.
- [5] Logendran, R., Carson, S. and Hanson, E. , Group scheduling in flexible flow shops, *International Journal of Production Economics*, 96(2),2005.
- [6] T. Wajdi, 'Ordonnement des systèmes de production flexibles soumis à différents types de contraintes de blocage', Thèse Université de Lorraine, 2012.
- [7] R.L. Graham, E.L. Lawler, J.K. Lenstra & A.H.G. Rinnooy Kan. 'Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey', *Annals of Discrete Mathematics*. Vol. 5, pp. 287-326, 1979.
- [8] Puchinger, J., Raidl, G. R. 'Combining metaheuristics and exact algorithms in combinatorial optimization: a survey and classification. In: *Proceedings of the First International Work-Conference on the Interplay between Natural and Artificial Computation*'. LNCS, Vol. 3562, Springer, Berlin, pp. 41–53, 2005.
- [9] Land, A.H., Doig, A.G. 'An automatic method of solving discrete programming problems', *econometrica*. Vol.28 No.3, pp. 497–520.1960.
- [10] S.A. Brah, J.L. Hunsucker, Branch and bound algorithm for the flow-shop with multiple processors, *European Journal of Operational Research*, vol. 51, No. 1, pp. 88–99, 1991.
- [11] Rajendran, Chandrasekharan, and Dipak Chaudhuri. "Scheduling in n-job, m-stage flowshop with parallel processors to minimize makespan." *International Journal of Production Economics*, Vol.27. No.2, pp. 137-143, 1992.
- [12] A. Vignier, D. Dardilhac, D. Dezalay, C. Proust, A branch and bound approach to minimize the total completion time in a k-stage hybrid flowshop, in: *Proceedings of the Fifth International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA '96*, IEEE Press, pp. 215–220, 1996.
- [13] J.N.D.Gupta, A.M.A.Hariri, C.N.Potts, Scheduling a two-stage hybrid flow shop with parallel machines at the first stage, *Annals of Operations Research*. Vol.69, pp.171–191, 1997.
- [14] A. Vignier, P. Commandeur, C. Proust, New lower bound for the hybrid flowshop scheduling problem, in: *Proceedings of the Sixth International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA '97*, IEEE Press, pp. 446–451, 1997.
- [15] Y. Yang, *Optimization and Heuristic Algorithms for Flexible Flow Shop Scheduling*, Ph.D. Thesis, Columbia University, 1998.
- [16] J. Carlier, E. NTron, An exact method for solving the multi-processor flowshop, *RAIRO Recherche OpTrationnelle*. Vol. 34, No.1, pp. 1–25, 2000.
- [17] O. Moursli, Y. Pochet, A branch-and-bound algorithm for the hybrid flowshop, *International Journal of Production Economics*. Vol. 64, No (1–3), pp. 113–125, 2000.
- [18] E. NTron, P. Baptiste, J.N.D. Gupta, Solving hybrid flow shop problem using energetic reasoning and global operations, *Omega-International Journal of Management Science*, vol. 29, No 6, pp. 501–511, 2001.
- [19] G.-C. Lee, Y.-D. Kim, A branch-and-bound algorithm for a two-stage hybrid flowshop scheduling problem minimizing total tardiness, *International Journal of Production Research*. Vol. 42, No. 22, pp. 4731–4743, 2004.
- [20] A. Bolat, I. Al-Harkan, B. Al-Harbi, Flow-shop scheduling for three serial stations with the last two duplicate, *Computers and Operations Research*. Vol. 32, No. 3, pp. 647–667, 2005.
- [21] H. Allaoui, A. Artiba, Scheduling two-stage hybrid flow shop with availability constraints, *Computers and Operations Research*. Vol.33, No.5, pp. 1399–1419, 2006.
- [22] Haouari, Mohamed, Lotfi Hidri, and Anis Gharbi. "Optimal scheduling of a two-stage hybrid flow shop." *Mathematical Methods of Operations Research*, vol. 64 No.1, pp. 107-124, 2006.
- [23] H.S. Choi, D.H. Lee, Scheduling algorithms to minimize the number of tardy jobs in two-stage hybrid flow shops, *Computers and Industrial Engineering*, Vol 56, No.1, pp. 113–120.2009.
- [24] Wang, Shijin, Ming Liu, and Chengbin Chu. "A branch-and-bound algorithm for two-stage no-wait hybrid flow-shop scheduling." *International Journal of Production Research*, Vol. 53. No.4 PP. 1143-1167.2015.
- [25] M. Gourgand, N. Grangeon, S. Norre, Metaheuristics for the deterministic hybrid flow shop problem, in: *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Production Management, IEPM'99, FUCAM-INRIA*, pp. 136–145.1999.
- [26] E.G. Negenman, Local search algorithms for the multiprocessor flow shop scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, Vol.128, No.1, pp. 147–158. 2001.
- [27] C.Y. Low, Simulated annealing heuristic for flow shop scheduling problems with unrelated parallel machines, *Computers and Operations Research*, Vol.32, No.8, pp. 2013–2025, 2005.
- [28] A. Allahverdi, F.S. Al-Anzi, Scheduling multi-stage parallel-processor services to minimize average response time, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.57, No.1, pp. 101–110, 2006.
- [29] Z.H. Jin, Z. Yang, T. Ito, Metaheuristic algorithms for the multistage hybrid flowshop scheduling problem, *International Journal of Production Economics*, vol. 100, No. 2, pp. 322–334, 2006.
- [30] A. Janiak, E. Kozan, M. Lichtenstein, C. Oguz, Metaheuristic approaches to the hybrid flow shop scheduling problem with a cost-related criterion, *International Journal of Production Economics*, Vol. 105, No. 2, pp. 407–424, 2007.
- [31] B. Naderi, M. Zandieh, V. Roshanaei, Scheduling hybrid flowshops with sequence dependent setup times to minimize makespan and maximum tardiness, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 41, No. (11–12), pp. 1186–1198, 2009.
- [32] Choong, F., Somnuk Phon-Amnuaisuk, and Mohammad Yusoff Alias. "Metaheuristic methods in hybrid flow shop scheduling problem." *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No.9, pp. 10787-10793, 2011.
- [33] M. Houari, "Heuristic algorithms for the two-stage hybrid flowshop problem", *Operations Research Letters*, vol. 21, pp. 43 -53, 1997.
- [34] W. Kaczmarczyky, T.J. Sawik, A. Schaller, T.M. Tirpak, Optimal versus heuristic scheduling of surface mount technology lines, *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 10, pp. 2083–2110, 2004.
- [35] C. Oguz, Y. Zinder, V. Do, A. Janiak, M. Lichtenstein, Hybrid flow-shop scheduling problems with multiprocessor task systems, *European Journal of Operational Research*. Vol. 152, No.1, pp. 115–131, 2004.

- [36] B. Wardono, Y. Fathi, A tabu search algorithm for the multi-stage parallel machine problem with limited buffer capacities, *European Journal of Operational Research*, Vol. 155, No. 2, pp. 380–401, 2004.
- [37] L. Chen, L.-F. Xi, J.-G. Cai, N. Bostel, P. Dejax, An integrated approach for modeling and solving the scheduling problem of container handling systems, *Journal of Zhejiang University Science*, Vol.7, No. 2, pp. 234–239, 2006.
- [38] R. Logendran, P. deSzoeko, F. Barnard, Sequence-dependent group scheduling problems in flexible flow shops, *International Journal of Production Economics*, Vol. 102, No. 1, pp. 66–86, 2006.
- [39] Shahvari, Omid, et al. "An efficient tabu search algorithm for flexible flow shop sequence-dependent group scheduling problems." *International Journal of Production Research*; vol. 50. No.15, pp. 4237-4254, 2012.
- [40] Bożejko, Wojciech, Jarosław Pempera, and Czesław Smutnicki. "Parallel tabu search algorithm for the hybrid flow shop problem." *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 65. No.3, pp. 466-474, 2013.
- [41] Y. Yang, Optimization and Heuristic Algorithms for Flexible Flow Shop Scheduling, Ph.D. Thesis, Columbia University, 1998.
- [42] R. Tavakkoli-Moghaddam, N. Safaei, F. Sassani, A memetic algorithm for the flexible flow line scheduling problem with processor blocking, *Computers and Operations Research*, Vol. 36, No. 2, pp. 402–414, 2009.
- [43] S. Piramuthu, N. Raman, M.J. Shaw, Decision support system for scheduling a flexible flow system: incorporation of feature construction, *Annals of Operations Research*, vol.78, pp. 219–234, 1998.
- [44] W. Xiao, P. Hao, S. Zhang, X. Xu, Hybrid flow shop scheduling using genetic algorithms, in: *Proceedings of the Third World Congress on Intelligent Control and Automation*, IEEE Press, pp. 537–541, 2000.
- [45] Y. Wu, M. Liu, C. Wu, A genetic algorithm for solving flow shop scheduling problems with parallel machines and special procedure constraints, in: *Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol. 3, IEEE Press, pp. 1774–1779, 2003.
- [46] S. Bertel, J.-C. Billaut, A genetic algorithm for an industrial multiprocessor flow shop scheduling problem with recirculation, *European Journal of Operational Research*, Vol. 159, No. 3, pp. 651–662, 2004.
- [47] M.E. Kurz, R.G. Askin, Scheduling flexible flow lines with sequencedependent setup times, *European Journal of Operational Research*, vol.159, No. 1, pp. 66–82, 2004.
- [48] H. Morita, N. Shio, Hybrid branch and bound method with genetic algorithm for flexible flowshop scheduling problem, *JSME International Journal Series C-Mechanical Systems Machine Elements and Manufacturing*, Vol. 48, No. 1, pp. 46–52, 2005.
- [49] J.A. Vázquez Rodríguez, A. Salhi, Performance of single stage representation genetic algorithms in scheduling flexible flow shops, in: *The 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, vol. 2, IEEE Press, pp. 1364–1371, 2005.
- [50] E. Figielska, A genetic algorithm and a simulated annealing algorithm combined with column generation technique for solving the problem of scheduling in the hybrid flowshop with additional resources, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 56, No. 1, pp. 142–151, 2009.
- [51] Amin-Naseri, Mohammad Reza, and Mohammad Ali Beheshti-Nia. "Hybrid flow shop scheduling with parallel batching." *International Journal of Production Economics*, vol. 117. No.1, pp. 185-196, 2009.
- [52] Rashidi, E., M. Jahandar, and M. Zandieh. "An improved hybrid multi-objective parallel genetic algorithm for hybrid flow shop scheduling with unrelated parallel machines." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.49. No. 9-12, pp. 1129-1139, 2010.
- [53] Zare, H. Khademi, and M. B. Fakhrazad. "Solving flexible flow-shop problem with a hybrid genetic algorithm and data mining: A fuzzy approach." *Expert systems with applications*, vol. 38. No.6, pp. 7609-7615, 2011.
- [54] Choi, S. H., and K. Wang. "Flexible flow shop scheduling with stochastic processing times: A decomposition-based approach." *Computers & Industrial Engineering*, vol. 63, No.2, pp. 362-373, 2012.
- [55] Wang, Shijin, and Ming Liu. "A genetic algorithm for two-stage no-wait hybrid flow shop scheduling problem." *Computers & Operations Research*, Vol. 40. No. 4, pp. 1064-1075, 2013.
- [56] Ebrahimi, M., SMT Fatemi Ghomi, and B. Karimi. "Hybrid flow shop scheduling with sequence dependent family setup time and uncertain due dates." *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 38. No.9, pp. 2490-2504, 2014.
- [57] Zabihzadeh, Seyedeh Sarah, and Javad Rezaeian. "Two meta-heuristic algorithms for flexible flow shop scheduling problem with robotic transportation and release time." *Applied Soft Computing*, Vol. 40, pp. 319-330, 2015.
- [58] Sangsawang, Chatnugrob, et al. "Metaheuristics optimization approaches for two-stage reentrant flexible flow shop with blocking constraint." *Expert Systems with Applications*, vol. 42. No. 5, pp. 2395-2410, 2015.
- [59] Liou, Cheng-Dar, and Yi-Chih Hsieh. "A hybrid algorithm for the multi-stage flow shop group scheduling with sequence-dependent setup and transportation times." *International Journal of Production Economics*, vol. 170, pp. 258-267, 2015.

Problème d'ordonnancement au sein d'un système de production «atelier job shop» : Revue de littérature

Imane MOUTAOUAKKIL
Laboratoire de Génie Mécanique
Faculté des Sciences et Techniques
FES - MAROC
imane.moutaouakkil@usmba.ac.ma,
00212 6 65227314

Abdellah EL BARKANY et Ahmed EL KHALFI
Laboratoire de Génie Mécanique
Faculté des Sciences et Techniques
FES - MAROC
a_elbarkany2002@yahoo.fr,
aelkhalfi@gmail.com

Résumé — Dans le contexte économique actuel, les problèmes liés à la gestion de production sont cruciaux pour l'entreprise. En effet, l'évolution rapide des techniques de production, les exigences de la part des clients et de nouveau contexte compétitif, renforcé par la mondialisation, engendre de nombreux problèmes.

C'est dans ce cadre qu'interviennent les techniques d'ordonnancement qui ont pour objectif d'atteindre un équilibre avantageux entre le délai de livraison, délai court au client et l'utilisation maximale des ressources. Notre revue de littérature sera focalisée sur les problèmes d'ordonnancement à ressources multiples et plus précisément sur l'ordonnancement dans un atelier job shop. Ce dernier est considéré comme l'un des problèmes les plus importants et les plus complexes, étant donné que dans la plus part des cas il est difficile de trouver une solution optimale dans un délai raisonnable. Ce document passe en revue sur la classification des problèmes d'ordonnancement en job shop, les contraintes considérées et les critères à optimiser.

Mots clefs — Ordonnancement; job shop; revue de littérature; contraintes; critères.

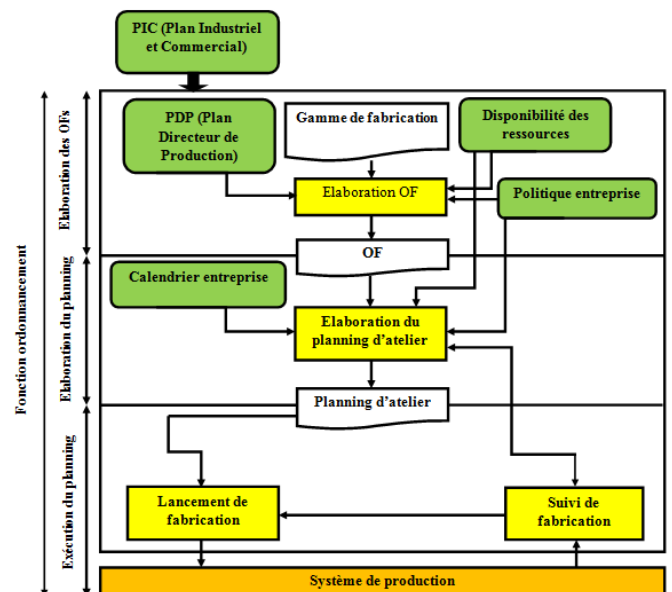
I. INTRODUCTION

L'ordonnancement est considéré comme un processus décisionnel jouant un rôle très important dans la plus part des industries soient manufacturières ou de services [1]. En effet, un nombre remarquable d'articles proposent des synthèses sur les problèmes liées à la planification, on cite Floudas et Lin [2], Li et Ierapetritou [3], Ribas et al. [4], Phanden et al. [5], et Maravelias et al. [6].

Pratiquement, et d'après Javel [7], la fonction ordonnancement se décompose en trois sous-fonctions : (1) l'élaboration des ordres de fabrication (OF) permettant de transformer les informations du programme directeur de production (suggestion de fabrication) en OF, (2) l'élaboration du planning d'atelier qui est déterminé en fonction des OF, de la disponibilité des ressources et du calendrier prévisionnel de fabrication et (3) le lancement, et le suivi des opérations de fabrication, pour superviser l'exécution et vérifier l'adéquation avec la planification, afin d'ajuster en fonction des imprévus.

Javel [7], a schématisé les fonctions de l'ordonnancement sous la forme d'un graphe présenté sur la Fig. 1.

Fig. 1. Fonction ordonnancement [7]



Remarque: comme entrée de la fonction ordonnancement, on peut intégrer les informations données par le PIC (Plan Industriel et commercial), qui est considéré comme une représentation future des activités de la production et de la vente des produits fabriqués. Ainsi, il permet de prévoir sur un horizon de deux à trois ans l'évolution du marché et donc de la demande.

Vue l'existence d'une vaste gamme des problèmes d'ordonnancement, plusieurs approches ont été développées pour rendre la planification de la production plus facile, et obtenir de meilleures solutions. Parmi ces approches on trouve la planification assistée par ordinateur (diagrammes de Gantt interactifs), la programmation mathématique (Programmation Linéaire (PL)), les diverses heuristiques, les systèmes experts (imitant le comportement humain), les algorithmes évolutionnaires et les différentes méthodes qui se basent sur l'Intelligence Artificielle (IA). La plupart de

ces approches sont principalement testées sur des exemples de petite taille.

Le reste de l'article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous présentons les différentes définitions relatives aux problèmes d'ordonnancement avec ressources multiples. Dans la section 3 nous exposons les notations utilisées pour décrire un problème d'ordonnancement dans un atelier job shop, ainsi qu'une description de la structure générale du problème en question. Dans la section 4, nous proposons une mise à jour des différentes recherches élaborées sur ce sujet. Enfin, une discussion sur les conclusions retenues et les orientations pour une recherche future, présentée dans la section 4.

II. DÉFINITION D'UN PROBLÈME D'ORDONNANCEMENT AVEC RESSOURCES

A. Ressources

Les problèmes d'ordonnancement apparaissent dans tous les domaines : informatique, industrie, construction, administration, etc [8].

Cependant, pour cadrer le contexte du travail, nous prenons en considération le type des ressources, nous pouvons par la suite distinguer deux grandes catégories:

1) *Les ressources consommables : utilisées une seule fois (les ressources financières...)* ;

2) *Les ressources renouvelables : réutilisées dès qu'elles sont libérées (machines, personnel,...). Nous distinguerons :*

a) *Les ressources cumulatives : on dispose d'une certaine quantité de ressources ;*

b) *Les ressources disjonctives : on dispose d'une seule unité non fractionnable.*

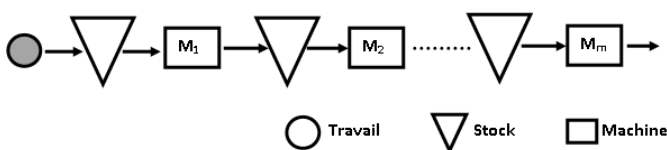
Nous allons s'intéresser par la suite à des problèmes, dont les tâches doivent passer par plusieurs machines (ressources renouvelables, disjonctives et multiples). Cette classe de problèmes est appelée problèmes d'atelier («shop problems»).

B. Les ateliers

Dans l'industrie on retrouve généralement cinq types d'atelier:

- Flow shop (F) (Fig. 2) : c'est un cas particulier du problème d'ordonnancement d'atelier pour lequel le cheminement des opérations est unique « linéaire », c'est-à-dire que les n job utilisent les m machines dans l'ordre 1,2, . . . , m.

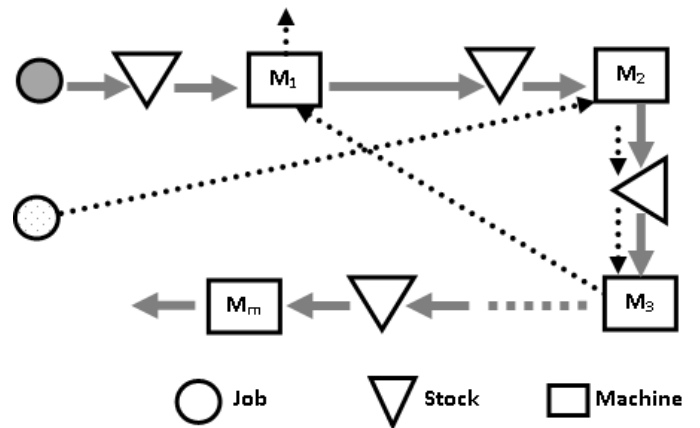
Fig. 2. Représentation d'un atelier flow shop



- Job shop (J) (Fig. 3) : C'est un atelier à cheminements multiples c'est-à-dire que les

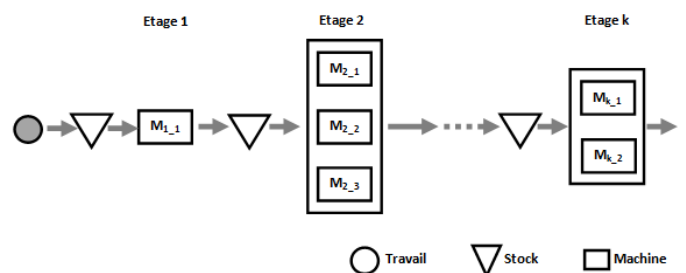
séquences opératoires relatives aux différents travaux peuvent être variées. A noter que ce type de cheminement suit les mêmes hypothèses que celles du flow shop.

Fig. 3. Représentation d'un atelier job shop



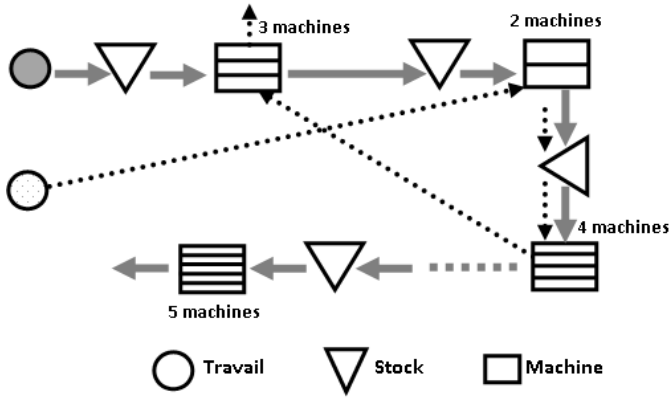
- Open shop (O): C'est un atelier où chaque travail subit un ensemble d'opérations sur un ensemble de machines dans des ordres libres. Ce type de problème ressemble à un problème de type job shop avec des contraintes de précédence relâchées.
- Flow shop Hybride (HF) (Fig. 4): une généralisation de l'atelier en flow shop dans lequel on trouve plusieurs étages dont chaque étage comprend un ensemble de machines en parallèles. Le cheminement est unique d'un étage vers l'autre mais peut être multiple dans un même étage. Ce type d'ateliers est également appelé « atelier à cheminement unique avec machines en exemplaires multiples ».

Fig. 4. Représentation d'un atelier flow shop hybride



- Job-Shop Hybride (HJ) (Fig. 5) : c'est un atelier à cheminement multiple avec machines en exemplaires multiples.

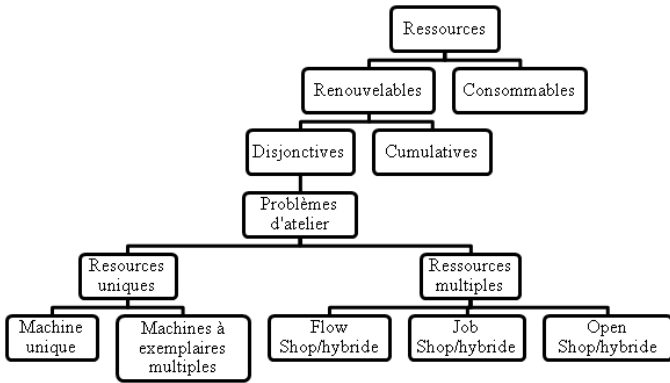
Fig. 5. Représentation d'un atelier job shop hybride



Remarque: dans les ateliers de production nous pouvons parler du degré de flexibilité, ce dernier dépend du nombre d'opérations qui peuvent être traitées sur les différentes machines existantes dans l'atelier. Ainsi, nous pouvons associer à la flexibilité un degré: (1) faible, si quelques opérations sont traitables sur quelques machines, (2) moyen et fort, si le nombre d'opérations traitables sur plusieurs machines devient de plus en plus important et (3) totale ou extrême si n'importe quelle opération est traitable sur n'importe quelle machine.

Dans ce qui suit, et comme le montre la Fig. 6 nous allons nous focaliser sur tous ce qu'est en relation avec le problème d'ordonnement à ressources multiples, et plus précisément l'atelier job shop.

Fig. 6. Classification des types d'ateliers selon les types des ressources



III. PARAMÈTRES D'UN PROBLÈME D'ORDONNEMENT JOB SHOP

Les problèmes d'ordonnement à ressources multiples ou à ressources renouvelables sont souvent appelés problèmes d'ateliers, puisque ces derniers contiennent des ressources qui ont la caractéristique d'être disponible, dès qu'elles seront libres d'une tâche (machines, opérateurs, ...).

Généralement les éléments essentiels pour définir ce type de problème sont les suivants :

- Les tâches à réaliser,

- Les ressources disponibles pour exécuter ces tâches,
- Les contraintes potentielles,
- Le(s) critère(s) d'optimisation.

A. Notations

Le problème d'ordonnement dans un atelier job shop peut être décrit comme un ensemble de n job J_i avec $i = \{1, 2, \dots, n\}$ qui doivent être traités sur m machines M_j où $j = \{1, 2, \dots, m\}$. Chaque job J_i comporte une séquence de n_i opérations, devant être exécutées sur les différentes ressources selon un ordre préalablement défini.

Nous décrivons ensuite un problème, contenant n jobs et m machines :

p_{ij} Temps de traitement du job i sur la machine j

p_i Temps de traitement total du job i

W_{ij} Temps d'attente précédant le job i sur la machine j

W_i Temps d'attente total du job i

r_i Date minimale de début du job i

C_i Date d'achèvement de la dernière opération du job i

F_i Temps d'écoulement (séjour) du job i

d_i Date d'échéance du job i

w_i Poids du job i

L_i Retards algébrique du job i ($L_i = C_i - d_i$)

T_i Retard absolu du job i ($T_i = \max \{L_i, 0\}$)

E_i Avancement du job i ($E_i = \max \{-L_i, 0\}$)

U_i Indicateur du retard du job i ($U_i = 1$ si $T_i < 0$; $U_i = 0$ sinon)

$$p_i = \sum_{j=1}^m p_{ij} \quad (1)$$

$$W_i = \sum_{j=1}^m W_{ij} \quad (2)$$

$$C_i = r_i + p_i + W_i \quad (3)$$

$$F_i = p_i + W_i = C_i - r_i \quad (4)$$

Remarque : ces notations, nous permettent de définir toutes les formules liées aux critères d'optimisation.

B. Contraintes

Après la spécification du type d'atelier, nous devons respecter certains types des contraintes. On distingue [12,15,16]:

1) Les contraintes de localisation temporelle : représentent des limites sur des variables temporelles de l'ordonnement. On note :

a) La date de disponibilité (release date) r_i : c'est la date de début au plus tôt, avant laquelle tâche ne peut pas commencer ;

b) La date d'échéance (due date) d_i : c'est la date de fin d'exécution préférentielle de la tâche.

2) Contrainte d'enchaînement : représentent généralement le respect des séquences des gammes opératoires (synchronisation, simultanéité, recouvrement...).

3) Contrainte de ressources : on peut distinguer deux types de contraintes:

a) La nature des ressources qui vont nous permettre d'avoir des informations sur les capacités de ces ressources à exécuter les tâches.

b) La disponibilité des ressources au cours du temps.

Généralement, au cours de la résolution d'un problème d'ordonnancement dans un atelier job shop, on doit respecter certaines contraintes : (1) les contraintes classiques et (2) les contraintes de blocage. Pour illustrer ces différents cas, nous considérons un exemple avec quatre jobs et trois machines. L'acheminement de chacun des cinq jobs est illustré dans le TABLEAU I :

TABLEAU I. EXEMPLE D'UN PROBLEME D'ORDONNANCEMENT JOB SHOP 5 JOBS 3 MACHINES

Job	Machine, Temps de traitement		
J_1	1,1	3,3	-
J_2	2,2	1,1	3,2
J_3	3,2	-	-
J_4	2,1	1,1	3,1

Généralement, les contraintes usuelles dans un atelier job shop sont :

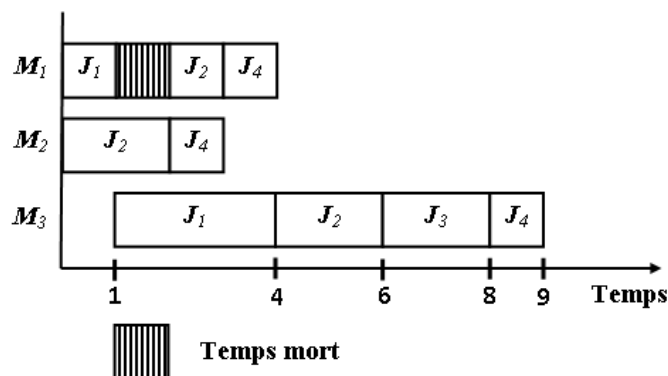
- Un job peut visiter une machine une fois et une seule.
- Il n'y a pas de contraintes de priorité entre les opérations d'un job.
- La préemption entre les opérations n'est pas autorisée.
- Chaque machine peut traiter qu'une seule opération à la fois.
- Chaque opération peut être traitée par une seule machine à la fois.
- Le temps de libération et les dates d'échéance ne sont spécifiés.

Cependant, le passage d'un job sur les différentes machines, risque d'être bloqué si celles-ci ne possède pas un espace de stockage intermédiaire.

En effet si nous considérons que cette capacité de stockage est illimitée (cas du job shop classique), nous pouvons remarquer sur la Fig. 7, qu'une machine est

immédiatement disponible pour traiter la prochaine opération après que l'opération en cours est accomplie.

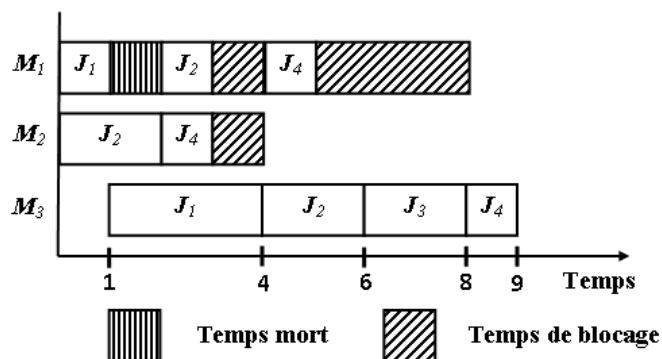
Fig. 7. Exemple d'un problème du job shop classic



Alors que pour une capacité limitée voire nulle, la littérature traite généralement quatre types de blocage : RSb, RCb, RCb* et le No-wait :

- RSb : (Release when Starting Blocking), la disponibilité immédiate d'une machine à effectuer la prochaine opération dès que la machine suivante soit libre.

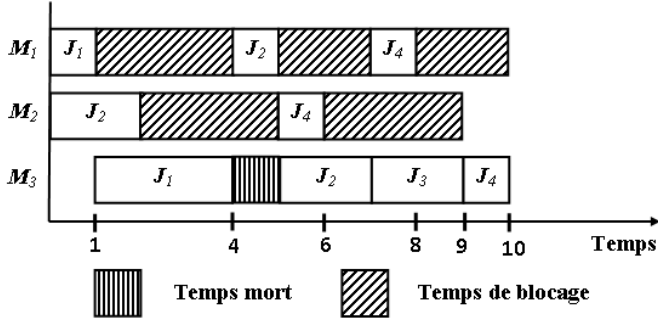
Fig. 8. Exemple d'un problème du job shop avec une contrainte de blocage de type RSb



Comme le montre la Fig. 8, le job J_2 reste bloqué sur la machine M_1 tant que la machine M_3 n'est pas disponible.

- RCb : (Release when Completing blocking), la disponibilité d'une machine à traiter la prochaine opération après que son opération soit finie sur la machine suivante et que le job ait quitté cette machine. Cette contrainte a été étudiée pour la première fois par Dauzère-Pères et al. [17].

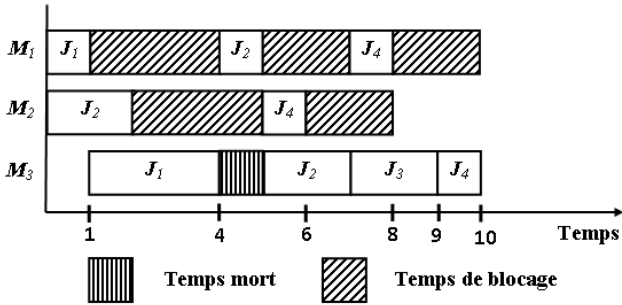
Fig. 9. Exemple d'un problème du job shop avec une contrainte de blocage de type RCb



Nous constatons que sur la Fig. 9, la machine M_2 reste bloquée par le job J_4 jusqu'à ce que son opération sur la machine M_1 soit finie, mais aussi que le job J_4 quitte cette machine. Cette date correspond finalement à la date de début de l'opération du job J_4 sur la machine M_3 .

- RCb*: variante de la contrainte de blocage RCb, la disponibilité d'une machine à traiter la prochaine opération après que son opération soit finie sur la machine suivante et sans tenir compte du fait que ce job quitte ou non la machine. Cette contrainte de blocage a été proposée pour la première fois par Trabelsi et al. [18].

Fig. 10. Exemple d'un problème du job shop avec une contrainte de blocage de type RCb*

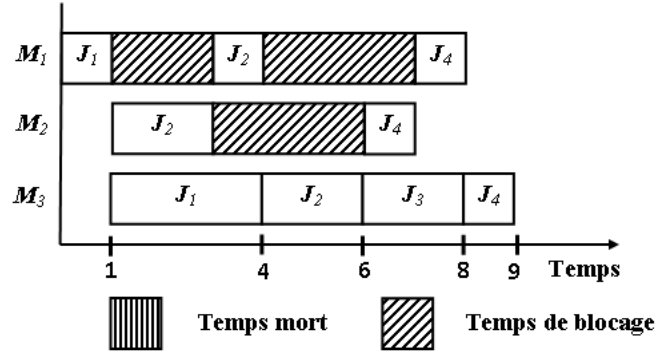


Sur la Fig. 10, la machine M_2 reste bloquée par le job J_4 jusqu'à ce que son opération sur la machine M_1 soit finie.

Dans le cas du blocage RCb*, le job J_4 n'attend pas que le job J_3 quitte la machine M_3 .

- No-wait: le modèle sans attente est un cas particulier d'un problème de blocage. Elle se produit lorsque deux opérations consécutives doivent être exécutées sans interruption.

Fig. 11. Exemple d'un problème du job shop avec une contrainte du No-wait



Nous remarquons sur Fig. 11, que les trois opérations du J_4 doivent être exécutées sans interruption. D'où nous notons un retard du J_4 sur la machine M_2 ainsi que sur la M_1 .

C. Critères d'optimisation

Mokotoff [9], a pu déterminer trois groupes d'objectifs pour les problèmes d'ordonnancement: (1) Objectifs basés sur le temps d'achèvement (C_{max} , F , etc.), (2) Objectifs fondés sur la date d'échéance (L , T , etc.) et (3) Objectifs basés sur les stocks et l'utilisation des coûts. Bien que le premier et le second groupe d'objectifs soient plus communément utilisés dans les problèmes d'ordonnancement, des études sur la base du troisième groupe peuvent être trouvées dans la littérature [10,11]. Le makespan est l'objectif couramment utilisé et il est formulé comme suit (5):

$$C_{max} = \max_{i=1, \dots, n} C_i \quad (5)$$

Ainsi, nous pouvons illustrer l'ensemble des critères dans le TABLEAU II :

TABLEAU II. CRITÈRES D'OPTIMISATION

Critères	Maximum	Somme	Somme pondérée	Moyenne arithmétique
Date d'achèvement	$C_{max} = \max(C_i)$	$C_{\Sigma} = \sum C_i$	$C_{\omega} = \sum \omega_i C_i$	$\bar{C} = (1/n) \sum C_i$
Temps de séjour	$F_{max} = \max(F_i)$	$F_{\Sigma} = \sum F_i$	$F_{\omega} = \sum \omega_i F_i$	$\bar{F} = (1/n) \sum F_i$
Retard algébrique	$L_{max} = \max(L_i)$	$L_{\Sigma} = \sum L_i$	$L_{\omega} = \sum \omega_i L_i$	$\bar{L} = (1/n) \sum L_i$
Retard absolu	$T_{max} = \max(T_i)$	$T_{\Sigma} = \sum T_i$	$T_{\omega} = \sum \omega_i T_i$	$\bar{T} = (1/n) \sum T_i$

$$\text{Temps d'avancement} \quad E_{max}=\max(E_i) \quad E_{\Sigma}=\sum E_i \quad E_{\omega}=\sum \omega_i E_i \quad \bar{E}=(1/n)\sum E_i$$

D'autres objectifs couramment utilisés sont : le nombre d'emplois en retard (6), le temps d'inactivité (8) et la variance de temps d'achèvement (9).

$$n_T = \sum_{i=1}^n U_i \quad (6)$$

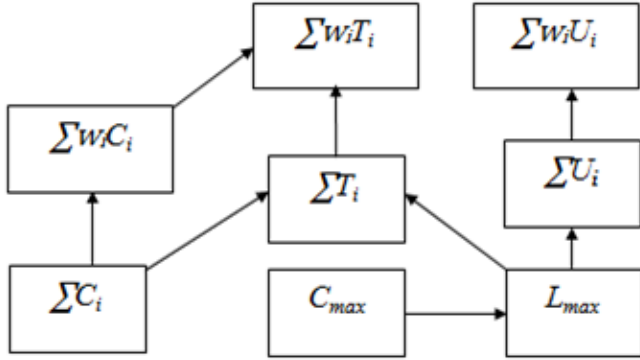
$$I_j = \max_{i=1, \dots, n} C_{ij} - \sum_{i=1}^n p_{ij} \quad (7)$$

$$I = \sum_{j=1}^m I_j \quad (8)$$

$$ctv = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{F})^2 \quad (9)$$

T'Kindt et Billaut [12], a pu montrer qu'il existe plusieurs relations d'équivalence, de similitude et de réduction entre ces critères, qui permettent par la suite de déduire certains critères de certains d'autres. Le sens des flèches donne le sens de réduction avec la condition associée sur chaque arc présenté sur la Fig. 12.

Fig. 12. Relation entre les critères d'optimisation



La minimisation du makespan maximise l'utilisation et l'efficacité de la ligne de production tout en minimisant le temps d'écoulement. Ainsi, la combinaison de ces deux objectifs diminue les coûts relatifs à la production [13]. En outre, l'objectif lié au retard et à l'avancement ont été utilisés afin de satisfaire la demande des clients [14]. Par ailleurs, la minimisation du temps d'inactivité de la machine, permet d'augmenter le taux d'utilisation des ressources.

L'approche multi-objectifs pour la résolution des problèmes d'ordonnancement, permet une réalisation simultanée des avantages mentionnés. On définit alors une fonction objective sur le TABLEAU III, qui peut être formée par de nombreuses manières différentes [12].

TABLEAU III. NOTATION DES PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT MULTICRITERE

Z	Problème de critère unique.
$F_l(Z_1, \dots, Z_K)$	Minimiser une combinaison linéaire convexe des K critères.
$\varepsilon(Z_w/Z_1, \dots, Z_K)$	Seul le critère Z_u est réduit au minimum, sous réserve que tous les autres critères sont supérieurs et délimités par des valeurs connues.
$P(Z_1, \dots, Z_K)$	Indique une fonction non décroissante des critères pour réduire au minimum, si l'on suppose que tous les critères sont supérieurs délimités par des valeurs connues
$F_T(Z_1, \dots, Z_K)$	Indique une fonction objective qui est l'expression d'une distance par rapport à une distance idéale de la solution connue est calculée en utilisant la métrique de Tchebychev.
$F_{Tp}(Z_1, \dots, Z_K)$	Indique une fonction objective qui est l'expression d'une distance par rapport à une distance idéale de la solution connue est calculée en utilisant la métrique de Tchebychev pondérée.
$F_{Tpa}(Z_1, \dots, Z_K)$	Indique une fonction objective qui est l'expression d'une distance par rapport à une distance idéale de la solution connue est calculée en utilisant la pondération métrique Tchebychev augmentée.
$F_s(Z_1, \dots, Z_K)$	Indique une fonction très particulière qui prend en compte une solution idéale connue pour trouver la solution recherchée.
$GP(Z_1, \dots, Z_K)$	S'il y a des objectifs à atteindre pour chaque critère dans le problème d'ordonnancement (programmation but).
$Lex(Z_1, \dots, Z_K)$	Indique que le décideur n'autorise pas les compromis entre les critères. L'ordre dans lequel les critères sont donnés est lié à leur importance, le plus important occupe la première place.
$\#(Z_1, \dots, Z_K)$	Indique le problème de l'énumération de tous les optima de Pareto.

Remarque: Parmi ces approches les plus rencontrées dans la littérature sont F_l , Lex , GP et $\#$.

D. Schémas de classification

Pour décrire un problème d'ordonnancement, la littérature nous a proposé plusieurs schémas. Nous adoptons par la suite la classification proposée par Graham et al. [19],

et par Blazewicz et al. [20]. Cette dernière se base sur trois champs distincts : $\alpha|\beta|\gamma$

- Le champ $\alpha = \alpha_1\alpha_2$ décrit l'environnement machine,
- Le champ $\beta = \beta_1\beta_2\dots\beta_8$ indique les contraintes additionnelles liées aux opérations.

- Le champ γ décrit le critère à optimiser, il peut être comme le montre le TABLEAU IV, un seul ou une combinaison de plusieurs critères.

TABLEAU IV. PARAMETRES UTILISES POUR LA CLASSIFICATION DES PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT

Champ	Signification
$\alpha_1 \in \{ O, F, J, FH, JH \}$	$\alpha_1 = O$: open shop $\alpha_1 = F$: flow shop $\alpha_1 = J$: job shop $\alpha_1 = FH$: flow shop hybride $\alpha_1 = JH$: job shop hybride
$\alpha_2 \in \{ \emptyset, k \}$ (k entier)	$\alpha_2 = \emptyset$: nombre des machines variables. $\alpha_2 = k$: k machines
$\beta_1 \in \{ \emptyset, pmtn \}$	$\beta_1 = \emptyset$: pas de préemption $\beta_1 = pmtn$: préemption
$\beta_2 \in \{ \emptyset, res \}$	$\beta_2 = \emptyset$: pas de ressource additionnelle $\beta_2 = res$: ressources spécifiées.
$\beta_3 \in \{ \emptyset, prec, uan, tree, chains \}$	$\beta_3 = \emptyset$: tâches indépendantes $\beta_3 = prec$: contrainte de précédence $\beta_3 = uan$: réseau d'activité uniconnexe $\beta_3 = tree$: contrainte de précédence formant un arbre $\beta_3 = chains$: contrainte de précédence formant une chaîne
$\beta_4 \in \{ \emptyset, r_i \}$	$\beta_4 = \emptyset$: temps au plus tôt est zéro $\beta_4 = r_i$: temps au plus tôt différent par tâche
$\beta_5 \in \{ \emptyset, p_i = p, p^- \leq p_i \leq p^+ \}$	$\beta_5 = \emptyset$: temps d'exécution des tâches arbitraires $\beta_5 = (p_i = p)$: temps d'exécution des tâches identiques $\beta_5 = (p^- \leq p_i \leq p^+)$: temps d'exécution dans un intervalle
$\beta_6 \in \{ \emptyset, \}$	$\beta_6 = \emptyset$: aucune deadline $\beta_6 =$: deadline imposée
$\beta_7 \in \{ \emptyset, n_i \leq k \}$	$\beta_7 = \emptyset$: nombre maximum de tâches arbitraire (J) $\beta_7 = (n_i \leq k)$: nombre de tâches pour chaque $\leq k$
$\beta_8 \in \{ \emptyset, no-wait, RSb, RCb, RCb^* \}$	$\beta_8 = \emptyset$: pas d'attente ni blocage $\beta_8 = (no-wait, RSb, RCb, RCb^*)$: attente ou blocage
$\gamma \in \{ C_{max}, L_{max}, F_{max}, \dots \}$	Tab.

Pour l'exemple suivant : J, 5, 3|Prec, r_i | C_{max}

Il s'agit d'un problème d'ordonnancement d'un atelier de type job shop, ayant cinq jobs et trois machines

disponibles. Le deuxième champ indique que les jobs présentent une contrainte de précédence, Prec, et une contrainte r_i de dates de début au plus tôt. Le dernier champ montre que l'objectif est de minimiser le makespan C_{max} .

Cependant la satisfaction de tous les critères à la fois est souvent délicate, car elle conduit souvent à des situations contradictoires et à la recherche de solutions à des problèmes complexes d'optimisation [21].

IV. MÉTHODES DE RÉOLUTION APPROCHÉES

Différentes approches ont été utilisées pour résoudre le problème d'ordonnancement dans un atelier job shop. La première catégorie, concerne les méthodes de résolution exactes, comme les algorithmes de programmation linéaire en nombres entiers qui offrent une solution optimale.

Cependant, et puisque le problème en question appartient à la classe des problèmes NP-difficiles, ces méthodes s'avèrent inefficaces, surtout pour le traitement des cas de grande taille. De ce fait, plusieurs méthodes d'approximation ont été développées afin d'optimiser le travail dans ce type d'atelier.

A. Méthodes exactes

Les méthodes exactes, ont été utilisées pour la première fois par Manne [22], puis par Brooks et White [23], suivi En 1968 par Greenberg [24], qui a pu utiliser la programmation linéaire en nombre entiers. En 1973 Fisher [25,26], a développé un algorithme en se basant sur les multiplicateurs de Lagrange. Cependant, en 1975 McMahon et Florian [27], ont proposé un algorithme qui a dépassé la performance des algorithmes de Fisher.

Durant les vingt dernières années, plusieurs algorithmes plus performants ont été élaborés en utilisant la technique de la relaxation lagrangienne, qui consiste à relâcher certaines contraintes afin de les associer avec une pénalité, cette technique est appelée la relaxation lagrangienne augmentée. Cette méthode a été utilisée pour résoudre des problèmes plus proches de la réalité, avec plus d'une centaine de jobs et une cinquantaine de machines.

Plus tard en 1989, Carlier et Pinson [28], proposent un algorithme basé sur le Branch et Bound (B&B), qui pour la première fois, résout de manière optimale le problème 10x10 de Fisher et Thompson, ainsi que d'autres plus complexes. Plus récemment nous pouvons citer les approches proposées par Caseau et Laburthe [29], Perregaard et Clausen [30] et Blazewicz et al. [31].

B. Méthodes approchées

Les premières méthodes apparues dans ce cadre, sont les heuristiques de construction, créées à la fin des années 50 et le début des années 60, on cite celles proposées par Giffler et Thompson [32] et Fisher et Thompson [33]. Dans les années 70, et malgré l'intérêt porté sur les méthodes exactes, on note la naissance des méthodes de relaxation, suivi dans les années 80 par l'apparition des méta-heuristiques, telles que les Algorithmes Génétiques, la Recherche Tabou et le Recuit Simulé. Ensuite, l'émergence de nouvelles méthodes, telles que la programmation par contraintes, les réseaux de neurones, les systèmes expert ainsi que le recours aux différentes techniques en relation avec la simulation.

Dans la suite nous allons présenter sur le **TABLEAU V** un aperçu sur quelques études qui ont pour objective d'appliquer des méthodes approchées, afin d'optimiser le travail dans un atelier job shop.

TABLEAU V. ÉTUDES RECENTES SUR LE PROBLEME D'ORDONNANCEMENT EN JOB SHOP

Publication	Méthode	Problème	Critère
Mohamed et al. [34]	Méthode hybride qui consiste en une combinaison entre une heuristique et un solveur.	Job-Shop avec les flux inverses	C_{max}
Tamer [35]	Approche de la recherche tabou, en utilisant la fonction de recherche de voisinage.	Job-Shop flexible	C_{max}
Jian Lin [36]	Optimisation basée sur la biogéographie, c'est un algorithme évolutionnaire qui imite l'immigration et l'émigration des espèces entre les habitats.	floue Job-Shop flexible	C_{max}
Fuqing Zhao et al. [37]	Algorithme amélioré de la méthode nommée Shuffled Complex Evolution (SCE).	Job-Shop	C_{max}
Juan José Palacios et al. [38]	Algorithme génétique hybridée avec la recherche tabou et une méthode heuristique.	Job-Shop flexible avec des temps de traitement incertains	C_{max}
Bo Peng et al. [39]	Algorithme qui intègre une procédure de la recherche tabou dans le cadre du chemin reliant la solution ouverture et la solution du guidage.	Job-Shop	C_{max}
Xiaohua et Haibin [40]	Optimisation basée sur la biogéographie-hybride (OBBH). L'algorithme combine la théorie du chaos et la recherche autour de la valeur optimale.	Job-Shop	C_{max}
Shuai et Zhi-Hua [41]	Algorithme du chemin reliant, basé sur la recherche tabou avec un suivi en saut-arrière.	Job-Shop flexible	C_{max}, W_g, W_{max}
Jun-Qing Li et al. [42]	Algorithme de colonie d'abeille artificielle discrète. L'algorithme proposé présente une schématisation de la solution unique où une source de nourriture est représentée par deux vecteurs discrets et sur chaque source de nourriture on applique la recherche tabou (RT) pour générer des sources de nourriture voisines pour les abeilles employées.	Job-Shop flexible	C_{max}, W_g, W_{max}

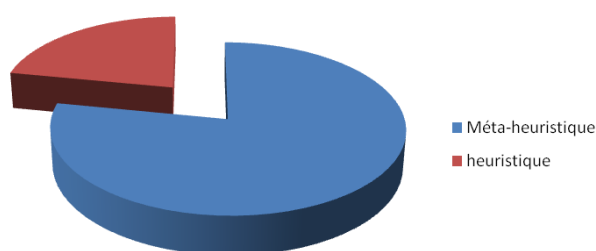
Publication	Méthode	Problème	Critère
Muthiah et Rajkumar [43]	Comparaison de l'algorithme génétique (AG) avec l'algorithme de colonie d'abeilles artificielle pour minimiser C_{max} . Cette comparaison a prouvé que le deuxième algorithme produit le meilleur résultat.	Job-Shop	C_{max}
Udaiyakumar et Chandrasekaran [44]	Utilisation d'une métaheuristique récemment développée, appelée algorithme de luciole (Firefly algorithm (FA)). Cet algorithme est inspiré à partir du comportement de clignotement de luciole, ce dernier agit comme un système de signal pour attirer d'autres lucioles.	Job-Shop	C_{max}
Yuan et Hua [45]	Recherche heuristique basée sur l'intégration de deux algorithmes, à savoir l'algorithme hybride de la recherche de l'harmonie (namely hybrid harmony search (HHS)) et l'algorithme de recherche à grand Voisinage (large neighborhood search (LNS)). L'étude sera commencée par le (HHS), puis la solution sera encore améliorée par le (LNS).	Job-Shop flexible	C_{max}
Benjamin et al. [46]	Présentation de l'heuristique Recherche dans l'espace des états (Heuristic Search Procedure (HSP)), qui invoque séquentiellement trois heuristiques de recherche distinctes: the Local Neighborhood Search Strategy (LNSS), Queuing Time Search Strategy 1 (QSS1), and Queuing Time Search Strategy 2 (QSS2).	Job-Shop	L_{max}
Nasser et al. [47]	Nouvel algorithme NHGASA (novel hybrid genetic algorithm and simulated annealing) qui est une combinaison de l'algorithme génétique (AG) et le recuit simulé (RS).	Job-Shop flexible	$C_{max}, W_{\mathcal{J}}, W_{max}$
Yuan et al. [48]	Algorithme hybride de la recherche de l'harmonie (namely hybrid harmony search (HHS)) basé sur l'approche intégrée	Job-Shop flexible	C_{max}
Yuan et Hua [49]	Proposition d'un algorithme à évolution différentielle hybride (hybrid differential evolution (HDE)).	Job-Shop flexible	C_{max}
Antonin et Carlos [50]	Hybridation de l'algorithme à évolution différentielle par la méthode de la recherche tabou.	Job-Shop	C_{max}
Tsung-Che et Hsiao-Jou [51]	Propositions d'un algorithme évolutionniste multi-objectifs, qui utilise avec efficacité les opérateurs génétiques et maintient attentivement la diversité de la population.	Job-Shop flexible	$C_{max}, W_{\mathcal{J}}, W_{max}$
Rui Zhang et al. [52]	Algorithme de colonie d'abeilles artificielle.	Job-Shop	T_{ω}
Arit et Ajchara [53]	Algorithme des colonies d'abeille artificielle hybride.	Job-Shop flexible	C_{max}
Ren et Yuping [54]	Algorithme génétique hybride.	Job-Shop	C_{max}
Deming [55]	Développement d'un algorithme efficace de co-évolution génétique (co-evolutionary genetic algorithm (CGA)).	floue Job-Shop flexible	C_{max}
Junqing et al. [56]	Algorithme de grenouille sautant brouillé hybride (hybrid shuffled frog-leaping algorithm (HSFLA)).	Job-Shop flexible	$C_{max}, W_{\mathcal{J}}, W_{max}$
Anan et al. [57]	Méthode d'ordonnancement efficace basée sur le meilleur à ce jour (Best-so-far), c-à-d on fait biaiser le sens de la solution vers la solution Best-so-far plutôt une solution voisin tel que proposé dans la méthode de colonie d'abeille artificielle originale (Artificial Bee Colony (ABC)).	Job-Shop	C_{max}
Rui et Cheng [58]	Algorithme d'identification de la machine goulot, qui intègre en premier lieu un algorithme de recuit simulé et en deuxième lieu un algorithme génétique, accordant plus de ressources informatiques pour les goulots identifiés en utilisant un schéma de codage hybride.	Job-Shop	T_{Σ}
Wannaporn et Arit [59]	Version modifiée de l'algorithme génétique.	Job-Shop flexible	C_{max}
Rubiyah et al. [60]	Nouvel algorithme génétique hybride parallèle (parallel GA (PGA)) basé sur une combinaison de colonie asynchrone AG (asynchronous colony GA (ACGA)) et l'immigration autonome AG (autonomous immigration GA (AIGA)).	Job-Shop	C_{max}
Lei et Dun-bing [61]	Algorithme génétique amélioré et adaptative (improved adaptive genetic algorithm (IAGA)), inspiré du mécanisme de modulation de l'hormone.	Job-Shop	C_{max}
Deming [62]	Application de la théorie des intervalles des nombres pour son avantage dans la modélisation de l'incertitude.	Job-Shop	C_{max}
Liang et al. [63]	Algorithme mimétique (Memetic algorithm (MA)), c'est un algorithme évolutionnaire hybride qui combine la recherche globale et la recherche locale.	Job-Shop	C_{max}
Rui [64]	Algorithme des colonies d'abeilles artificielles basé sur l'analyse des données du problème.	Job-Shop	T_{ω}
Wojciech et al. [65]	Approche parallèle qui intègre deux algorithmes métaheuristiques parallèles à double niveau sur la base de la nouvelle méthode de la	Job-Shop	C_{max}

Publication	Méthode	Problème	Critère
	détermination de voisinage.		
Jie et al. [66]	Méthod du CLLM (complete local search with limited memory). Les résultats expérimentaux montrent que le CLLM surpasse tous les algorithmes efficaces existants pour le problème considéré avec un peu plus de temps de calcul.	Job-Shop avec le no-wait	C_{max}
Wojciech et Mariusz [67]	Algorithme du recherche tabu hybride dédié au problème du job shop avec la contrainte du no-wait.	Job-Shop avec le no-wait	C_{max}
Qun et al. [68]	optimisation par la méthode PSO (Particle Swarm Optimization) combiné avec les opérateurs génétiques tels que le croisement et la mutation pour donner le GPSO (Genetic Particle Swarm Optimization)	Job-Shop	C_{max}
Vilcot et Billaut [69]	algorithme génétique rapide et élitiste basée sur NSGA-II (Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm). La population initiale de cet algorithme est générée d'une manière aléatoire ou partiellement générée en utilisant un algorithme de recherche tabou.	Job-Shop	C_{max}, L_{max}
Liaw [70]	Heuristique à deux, la phase 1 de l'heuristique transforme le problème en un problème d'un atelier flow shop sans attente qui est résolu en utilisant l'algorithme Gilmore et Gomor et la phase 2 de l'heuristique améliore la solution obtenue dans la phase 1 en utilisant un algorithme de recherche tabu simple. Les résultats des calculs montrent que l'heuristique proposée est extrêmement performante en termes de temps calcul et de la qualité de la solution.	Job-Shop avec le no-wait	C_{max}
Gao et al. [71]	algorithme génétique hybride (GA), une méthode efficace pour trouver des intervalles de temps assignables pour les opérations supprimées sur la base du concept de la première et de la dernière heure de l'événement.	Job-Shop flexible	$C_{max}, W_{\mathcal{E}}, W_{max}$
Gao et al. [72]	Algorithme génétique hybride avec une procédure de recherche locale innovante (déplacement du goulot d'étranglement). Le goulot d'étranglement se déplace sur deux types de voisinage efficace, qui utilisent l'échange de séquences de fonctionnement et l'attribution de nouvelles machines pour les opérations du chemin critique.	Job-Shop flexible	$C_{max}, W_{\mathcal{E}}, W_{max}$
Mattfeld et Bierwirth [73]	Réduction de l'espace de recherche d'une heuristique peut aider l'algorithme à trouver des meilleures solutions dans un temps de calcul plus court. Deux façons de réduire un espace de recherche sont étudiés en tenant compte des décisions à court terme prises au niveau de la machine et par des décisions à long terme réalisées au niveau de l'atelier.	Job-Shop	$\bar{F}, \bar{T}, T_{max}, T_{\omega}$
Asano et Ohta [74]	Heuristique basée sur la procédure de recherche d'arbre est mis au point pour résoudre le problème. Les résultats des calculs sont testés sur des problèmes 10*10 et 15*15.	Job-Shop	T_{ω}
Zhou et al. [75]	Algorithme génétique hybride est proposé, où les règles de programmation, comme le plus court temps de traitement (SPT (Shortest Processing Time) et la règle MWKR (Most Work Remaining), sont intégrées dans le processus de l'évolution génétique. Aussi, la technique de la recherche du voisinage (NST (Neighborhood Search Technique)) est adopté comme une procédure auxiliaire pour améliorer la performance de la solution.	Job-Shop	C_{max}
Singer [76]	Heuristique basée sur le principe du décalage du goulot d'étranglement (shifting bottleneck heuristic). La méthode est testée en utilisant des instances jusqu'à 10 machines et 100 opérations par machine.	Job-Shop	T_{ω}
Drobouchevitch et Strusevich [77]	Deux heuristiques qui se basent sur le principe de l'amélioration des performances du pire. L'une des d'eux garantit un rapport de 3/2 des cas de pire performance. L'autre algorithme crée un programme avec le temps d'exécution total qui dépasse la plus grande charge de travail (la longueur de la plus grande opération). Ainsi, une hypothèse à été considérée qui consiste à ce que chaque job est constitué d'au plus de deux opérations, dont l'une doit être traitée sur l'une des machines $m \geq 2$, tandis que l'autre opération doit être effectuée sur une machine du goulot d'étranglement, de même pour tous les jobs.	Job-Shop	C_{max}
Pezzella et Merelli [78]	Méthode de recherche locale proposée qui est basée sur une technique de recherche tabu et sur la procédure de décalage du goulot d'étranglement utilisée pour générer la solution initiale et d'affiner les prochaines solutions.	Job-Shop	C_{max}

Publication	Méthode	Problème	Critère
Armentano, et Rigão [79]	Approche basée sur la recherche tabu. La méthode utilise la répartition des règles pour obtenir une solution initiale et recherche de nouvelles solutions au voisinage en se basant sur les chemins critiques des jobs.	Job-Shop	T_{Σ}

La grande majorité des études utilisent les approches méta-heuristiques. Un diagramme circulaire qui montre les rapports en fonction des algorithmes est donné sur la Fig. 13. En outre, les méthodes méta-heuristiques les plus étudiées sont les Algorithmes Génétiques, la Recherche Tabou, et le Recuit Simulé. Généralement, la tendance de la recherche est le développement des algorithmes d'approximation plus efficaces, en termes de la qualité de la solution cherchée et du temps de calcul alloué.

Fig. 13. Ratio des méthodes approchées utilisées dans les études examinées.



Remarque : Un point à souligner est que les auteurs ont tendance à combiner les opérations fondamentales de l'heuristique ou la méta-heuristique, afin de générer de nouveaux algorithmes hybrides. Cette hybridation aura comme avantage, d'obtenir un équilibre entre l'exploration et l'exploitation de l'espace de recherche, et maîtriser par la suite le problème de la convergence prématurée.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article nous avons défini tout d'abord la terminologie et la notation de base, ainsi que les différents axes définissant un problème d'ordonnancement en job shop à savoir les types de contrainte et les critères d'optimisation. Ensuite nous avons mis le point sur des études récentes où ce problème d'ordonnancement a été traité en utilisant des méthodes approchées. La recherche future peut être vers plusieurs directions en fonction de nos résultats. La direction primaire est de se concentrer sur les problèmes qui ont pour objectif d'optimiser un seul critère à savoir le makespan (C_{max}).

Cependant, le développement d'un algorithme métaheuristique hybride constitue un domaine de recherche très important, puisque les caractéristiques les plus efficaces de plusieurs méthodes sont combinées afin d'obtenir une meilleure approximation. Aussi nous allons nous focaliser sur des nouveaux algorithmes métaheuristiques apparaissent au cours des dernières années et qui ont été inspirés des différents phénomènes naturels. Nous citons comme exemples, l'optimisation basée sur la biogéographie, l'algorithme de colonie d'abeille artificielle, l'algorithme de

luciole (Firefly algorithm (FA)), l'algorithme du système immunitaire artificielle,...

Finalement nous souhaitons appliquer cet algorithme sur des problèmes réels tirés de l'industrie afin de tester son efficacité, et atténuer par la suite l'ampleur de la complexité des problèmes d'ordonnancement dans un atelier en job shop.

Références

- [1] Pinedo, M., & Chao, X. (1999). Operations scheduling with applications in manufacturing and services. Boston: Irwin/McGraw-Hill., ISBN 0-07-289779-1.
- [2] Floudas, C. A., & Lin, X. (2004). Continuous-time versus discrete-time approaches for scheduling of chemical processes: A review. *Computers & Chemical Engineering*, 28, 2109–2129.
- [3] Li, Z., & Ierapetritou, M. (2008a). Process scheduling under uncertainty: Review and challenges. *Computers & Chemical Engineering*, 32, 715–727.
- [4] Ribas, I., Leisten, R., & Framiñan, J. M. (2010). Review and classification of hybrid flow shop scheduling problems from a production system and a solutions procedure perspective. *Computers and Operations Research*, 37(8), 1439–1454.
- [5] Phanden, R. K., Jain, A., & Verma, R. (2011). Integration of process planning scheduling: A state-of-the-art review. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(6), 517–534.
- [6] Maravelias, C. T. (2012). General framework and modeling approach classification for chemical production scheduling. *AIChE Journal*, 58(6), 1812–182.
- [7] Javel G., *Organisation et Gestion de la Production*, 3ème édition, DUNOD, Paris 2004.
- [8] J. Carlier et P. Chrétienne, « Problèmes d'ordonnancement, Modélisation, Complexité, Algorithmes ». Edition Masson, Paris, 1988.
- [9] Mokotoff E. Multi-objective simulated annealing for permutation flow shop problems. In: Chakraborty UK, editor. Computational intelligence in flow shop and job shop scheduling. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2009. p. 101–150.
- [10] Bülbül K, Kaminsky P, Yano C. Flow shop scheduling with earliness, tardiness, and intermediate inventory holding costs. *Naval Research Logistics* 2004;51:407–445.
- [11] Huang R-H, Yang C-L. Solving a multi-objective overlapping flow-shop scheduling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2009;42(9-10):955–962.
- [12] T'Kindt V. & Billaut J.-C., *Multicriteria Scheduling Theory, Models and Algorithms*, Translated from French by H. Scott, Second Edition, Springer-Verlag Berlin 2006.
- [13] Lin S.-W., Ying K.-C., Minimizing makespan and total flow time in permutation flow shops by a bi-objective multi-start simulated-annealing algorithm, *Computers & Operations Research* 2013;40(6):1625–1647.
- [14] Amin-Tahmasbi H, Tavakkoli-Moghaddam R. Solving a bi-objective flow shop scheduling problem by a multi-objective immune system and comparing with SPEA2+ and SPGA. *Advances in Engineering Software* 2011;42:772–779.
- [15] Baptiste P., une étude théorique et expérimentale de la propagation des contraintes de ressources, Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Compiègne, 1998.
- [16] Lopez P. & Esquirol P. L'ordonnancement, Economica, Paris 1999.

- [17] Dauzère-Pérès, S., C. Pavageau et N. Sauer. Modélisation et résolution par PLNE d'un problème réel d'ordonnement avec contraintes de blocage. 3ème congrès ROADEF, Nantes, pp. 216-217, 2000.
- [18] Trabelsi, W., C. Sauvey et N. Sauer. Heuristic methods for problems with blocking constraints solving Job-Shop scheduling. International Conference on Modelling and Simulation, Hammamet, Tunisia, 2010.
- [19] R.L. Graham, E.L. Lawler, J.K. Lenstra & A.H.G. Rinnooy Kan. Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling : a survey. *Annals of Discrete Mathematics*, vol. 5, pages 287-326, 1979.
- [20] J. Blazewicz, K.H. Ecker, E. Pesch, G. Schmidt & J. Weglarz. *Scheduling in computer and manufacturing processes*. Springer Verlag, 1996.
- [21] Souier, M., Métaheuristiques pour la manipulation de routages alternatifs en temps réel dans un Job Shop, Mémoire de Magister, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2009.
- [22] Manne A.S. (1960), On the Job Shop scheduling problem. *Operation Research*; 8(1960): 219-223.
- [23] Brooks, G.H. and White, C.R., An algorithm for finding optimal or near optimal solution to the production scheduling problem. *J. Ind. Eng*; 16(1): 34440.
- [24] Greenberg H. (1968), A branch-and-bound solution to the general scheduling problem, *Operation. Research*; 16: 353-361.
- [25] Fisher M.L. (1973), Optimal solution of scheduling problems using Lagrange multipliers: part I. *Operation Research*; 21: 1114-1127.
- [26] Fisher M.L. (1973), Optimal solution of scheduling problems using Lagrange multipliers: part II. Symposium on the Theory of Scheduling and its Applications. Springer, Berlino.
- [27] McMahon G. and Florian. (1975), On scheduling with ready times and due dates to minimize maximum lateness. *Operational Research*; 23(3): 475-482.
- [28] Carlier J., E. Pinson. (1989), A Branch and Bound Method for Solving the Job Shop Problem. *Management Science*::164-176.
- [29] Caseau Y. et Laborthe F. (1995), Improving Branch and Bound for Job Shop Scheduling with Constraint Propagation.
- [30] Perregaard M. et Clausen J. (1995), Parallel branch-and-bound methods for the jobshop scheduling problem.
- [31] Blazewicz J. , Sterna M. et Persch E. (1998), A Branch and Bound algorithm for the Job Shop scheduling problem. Springer Verlag; :219-254.
- [32] Giffler, B. et Thompson, G.L. (1960), Algorithms for solving production scheduling problems. *Operations Research*; 8(4): 487-503.
- [33] Fisher H. e Thompson G.L. (1963), Probabilistic learning combination of local jobshop scheduling rules. *Industrial Scheduling*, Prentice Hall;; 225-251.
- [34] Mohamed Amine Abdeljaouad, Zied Bahroun, Anissa Omrane, Julien Fondrevelle, Job-shop production scheduling with reverse flows, *European Journal of Operational Research*, Volume 244, Issue 1, 1 July 2015.
- [35] Tamer F. Abdelmaguid, A neighborhood search function for flexible job shop scheduling with separable sequence-dependent setup times, *Applied Mathematics and Computation*, Volume 260, 1 June 2015, Pages 188-203.
- [36] Jian Lin, A hybrid biogeography-based optimization for the fuzzy flexible job-shop scheduling problem, *Knowledge-Based Systems*, Volume 78, April 2015, Pages 59-74, ISSN 0950-7051.
- [37] Fuqing Zhao, Jianlin Zhang, Chuck Zhang, Junbiao Wang, An improved shuffled complex evolution algorithm with sequence mapping mechanism for job shop scheduling problems, *Expert Systems with Applications*, Volume 42, Issue 8, 15 May 2015, Pages 3953-3966.
- [38] Juan José Palacios, Miguel A. González, Camino R. Vela, Inés González-Rodríguez, Jorge Puente, Genetic tabu search for the fuzzy flexible job shop problem, *Computers & Operations Research*, Volume 54, February 2015, Pages 74-89.
- [39] Bo Peng, Zhipeng Lü, T.C.E. Cheng, A tabu search/path relinking algorithm to solve the job shop scheduling problem, *Computers & Operations Research*, Volume 53, January 2015, Pages 154-164.
- [40] Xiaohua Wang, Haibin Duan, A hybrid biogeography-based optimization algorithm for job shop scheduling problem, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 73, July 2014, Pages 96-114, ISSN 0360-8352.
- [41] Shuai Jia, Zhi-Hua Hu, Path-relinking Tabu search for the multi-objective flexible job shop scheduling problem, *Computers & Operations Research*, Volume 47, July 2014, Pages 11-26.
- [42] Jun-Qing Li, Quan-Ke Pan, M. Fatih Tasgetiren, A discrete artificial bee colony algorithm for the multi-objective flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 38, Issue 3, 1 February 2014, Pages 1111-1132.
- [43] Muthiah A, Rajkumar R, A Comparison of Artificial Bee Colony Algorithm and Genetic Algorithm to Minimize the Makespan for Job Shop Scheduling, *Procedia Engineering*, Volume 97, 2014, Pages 1745-1754.
- [44] K.C. Udaiyakumar, M. Chandrasekaran, Application of Firefly Algorithm in Job Shop Scheduling Problem for Minimization of Makespan, *Procedia Engineering*, Volume 97, 2014, Pages 1798-1807.š.
- [45] Yuan Yuan, Hua Xu, An integrated search heuristic for large-scale flexible job shop scheduling problems, *Computers & Operations Research*, Volume 40, Issue 12, December 2013, Pages 2864-2877.
- [46] Benjamin J. Lobo, Thom J. Hodgson, Russell E. King, Kristin A. Thoney, James R. Wilson, Allocating job-shop manpower to minimize : Optimality criteria, search heuristics, and probabilistic quality metrics, *Computers & Operations Research*, Volume 40, Issue 10, October 2013, Pages 2569-2584.
- [47] Nasser Shahsavari-Pour, Behrooz Ghasemishabankareh, A novel hybrid meta-heuristic algorithm for solving multi objective flexible job shop scheduling, *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 32, Issue 4, October 2013, Pages 771-780.
- [48] Yuan Yuan, Hua Xu, Jiadong Yang, A hybrid harmony search algorithm for the flexible job shop scheduling problem, *Applied Soft Computing*, Volume 13, Issue 7, July 2013, Pages 3259-3272.
- [49] Yuan Yuan, Hua Xu, Flexible job shop scheduling using hybrid differential evolution algorithms, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 65, Issue 2, June 2013, Pages 246-260.
- [50] Antonin Ponsich, Carlos A. Coello Coello, A hybrid Differential Evolution—Tabu Search algorithm for the solution of Job-Shop Scheduling Problems, *Applied Soft Computing*, Volume 13, Issue 1, January 2013, Pages 462-474.
- [51] Tsung-Che Chiang, Hsiao-Jou Lin, A simple and effective evolutionary algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling, *International Journal of Production Economics*, Volume 141, Issue 1, January 2013, Pages 87-98.
- [52] Rui Zhang, Shiji Song, Cheng Wu, A hybrid artificial bee colony algorithm for the job shop scheduling problem, *International Journal of Production Economics*, Volume 141, Issue 1, January 2013, Pages 167-178.
- [53] Arit Thammano, Ajchara Phu-ang, A Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm with Local Search for Flexible Job-shop Scheduling Problem, *Procedia Computer Science*, Volume 20, 2013, Pages 96-101.
- [54] Ren Qing-dao-er-ji, Yuping Wang, A new hybrid genetic algorithm for job shop scheduling problem, *Computers & Operations Research*, Volume 39, Issue 10, October 2012, Pages 2291-2299.
- [55] Deming Lei, Co-evolutionary genetic algorithm for fuzzy flexible job shop scheduling, *Applied Soft Computing*, Volume 12, Issue 8, August 2012, Pages 2237-2245.
- [56] Junqing Li, Quanke Pan, Shengxian Xie, An effective shuffled frog-leaping algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling problems, *Applied Mathematics and Computation*, Volume 218, Issue 18, 15 May 2012.
- [57] Anan Banharnsakun, Booncharoen Sirinaovakul, Tiranee Achalakul, Job Shop Scheduling with the Best-so-far ABC, *Engineering*

- Applications of Artificial Intelligence, Volume 25, Issue 3, April 2012, Pages 583-593.
- [58] Rui Zhang, Cheng Wu, Bottleneck machine identification method based on constraint transformation for job shop scheduling with genetic algorithm, *Information Sciences*, Volume 188, 1 April 2012, Pages 236-252.
- [59] Wannaporn Teekeng, Arit Thammano, Modified Genetic Algorithm for Flexible Job-Shop Scheduling Problems, *Procedia Computer Science*, Volume 12, 2012, Pages 122-128.
- [60] Rubiyah Yusof, Marzuki Khalid, Gan Teck Hui, Syafawati Md Yusof, Mohd Fauzi Othman, Solving job shop scheduling problem using a hybrid parallel micro genetic algorithm, *Applied Soft Computing*, Volume 11, Issue 8, December 2011, Pages 5782-5792.
- [61] Lei Wang, Dun-bing Tang, An Improved Adaptive Genetic Algorithm Based on Hormone Modulation Mechanism for Job-shop Scheduling Problem, *Expert Systems with Applications*, Available online 28 November 2011.
- [62] Deming Lei, Population-based neighborhood search for job shop scheduling with interval processing time, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 61, Issue 4, November 2011, Pages 1200-1208.
- [63] Liang Gao, Guohui Zhang, Liping Zhang, Xinyu Li, An efficient memetic algorithm for solving the job shop scheduling problem, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 60, Issue 4, May 2011, Pages 699-705.
- [64] Rui Zhang, An Artificial Bee Colony Algorithm Based on Problem Data Properties for Scheduling Job Shops, *Procedia Engineering*, Volume 23, 2011, Pages 131-136.
- [65] Wojciech Bożejko, Mariusz Uchroński, Mieczysław Wodecki, Parallel hybrid metaheuristics for the flexible job shop problem, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 59, Issue 2, September 2010, Pages 323-333.
- [66] Jie Zhu, Xiaoping Li, Qian Wang, Complete local search with limited memory algorithm for no-wait job shops to minimize makespan, *European Journal of Operational Research*, Volume 198, Issue 2, 16 October 2009, Pages 378-386.
- [67] Wojciech Bożejko, Mariusz Makuchowski, A fast hybrid tabu search algorithm for the no-wait job shop problem, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 56, Issue 4, May 2009, Pages 1502-1509.
- [68] Qun Niu, Bin Jiao, Xingsheng Gu, Particle swarm optimization combined with genetic operators for job shop scheduling problem with fuzzy processing time, *Applied Mathematics and Computation*, Volume 205, Issue 1, 1 November 2008.
- [69] Geoffrey Vilcot, Jean-Charles Billaut, A tabu search and a genetic algorithm for solving a bicriteria general job shop scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 190, Issue 2, 16 October 2008, Pages 398-411.
- [70] Ching-Fang Liaw, An efficient simple metaheuristic for minimizing the makespan in two-machine no-wait job shops, *Computers & Operations Research*, Volume 35, Issue 10, October 2008, Pages 3276-3283.
- [71] Jie Gao, Linyan Sun, Mitsuo Gen, A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems, *Computers & Operations Research*, Volume 35, Issue 9, September 2008, Pages 2892-2907.
- [72] Jie Gao, Mitsuo Gen, Linyan Sun, Xiaohui Zhao, A hybrid of genetic algorithm and bottleneck shifting for multiobjective flexible job shop scheduling problems, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 53, Issue 1, August 2007, Pages 149-162.
- [73] Dirk C Mattfeld, Christian Bierwirth, An efficient genetic algorithm for job shop scheduling with tardiness objectives, *European Journal of Operational Research*, Volume 155, Issue 3, 16 June 2004, Pages 616-630.
- [74] Makoto Asano, Hiroshi Ohta, A heuristic for job shop scheduling to minimize total weighted tardiness, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 42, Issues 2-4, 11 April 2002, Pages 137-147.
- [75] Hong Zhou, Yuncheng Feng, Limin Han, The hybrid heuristic genetic algorithm for job shop scheduling, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 40, Issue 3, July 2001, Pages 191-200.
- [76] Marcos Singer, Decomposition methods for large job shops, *Computers & Operations Research*, Volume 28, Issue 3, March 2001, Pages 193-207.
- [77] I.G. Drobouchevitch, V.A. Strusevich, Heuristics for the two-stage job shop scheduling problem with a bottleneck machine, *European Journal of Operational Research*, Volume 123, Issue 2, 1 June 2000, Pages 229-240.
- [78] Ferdinando Pezzella, Emanuela Merelli, A tabu search method guided by shifting bottleneck for the job shop scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 120, Issue 2, 16 January 2000, Pages 297-310.
- [79] Vinícius Amaral Armentano, Cintia Rigão Scrich, Tabu search for minimizing total tardiness in a job shop, *International Journal of Production Economics*, Volume 63, Issue 2, 15 January 2000, Pages 131-140.

Proposition d'une démarche pour l'intégration de réseau de capteurs intelligents dans un système de télésurveillance pour un système de production

Ramadany Mohamed

Laboratoire de productique Energie et Développement
Durable

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, École Supérieure
de Technologie- Fès, Maroc
mramadany@gmail.com

Sadiki Soukaina

Laboratoire de productique Energie et Développement
Durable

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, École Supérieure
de Technologie- Fès, Maroc
soukainasadiki759@gmail.com

Amegouz Driss

Laboratoire de productique Energie et Développement
Durable

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, École Supérieure
de Technologie- Fès, Maroc
amegouz@yahoo.fr

Résumé— Les usines modernes d'aujourd'hui exigent que les systèmes de production soient surveillés en permanence, et en temps réel, afin de garantir la fiabilité, la sécurité des processus de fabrication, la qualité des produits finis, ainsi que la sûreté de fonctionnement. L'intégration de capteurs intelligents dans les systèmes de production, permet d'exécuter des tâches très spécifiques, comme le fait de communiquer rapidement et à distance, des informations pertinentes concernant des phénomènes détectés sur ces systèmes. Cet article est consacré dans un premier temps à la présentation de l'état d'art de l'application des réseaux de capteurs en monitoring industriel à des fins de maintenance prédictive, et dans un second temps, à la proposition d'une démarche globale pour l'intégration de tels réseaux dans un système de télésurveillance pour un système de production. Finalement, nous allons mettre l'accent sur les verrous relatifs à l'intégration de cette technologie, dans une perspective de faire une enquête auprès des entreprises industrielles marocaines, et ce pour recueillir des points de repères importants dans un contexte de l'industrie marocaine.

Mots clefs—Intégration, Capteurs Intelligents, Système de télésurveillance, Verrous, Technologie, Enquête.

INTRODUCTION

Dans le monde industriel, les entreprises ont bénéficié ces dernières années de l'essor des capteurs intelligents, grâce au progrès de l'électronique numérique et des technologies de communication. Ces capteurs intelligents sont intégrés généralement dans le cadre d'un système de télésurveillance sur un système de production. L'objectif est la tenue des

objectifs de la production, en permettant un suivi en continu et en temps réel de l'état des machines qui constituent le système de production. Cependant, le marché n'étant pas développé, l'industriel ne peut s'appuyer sur des prestataires et des intégrateurs pour l'intégration de ces réseaux de capteurs. Ainsi, une démarche globale s'avère nécessaire afin de répondre à cette problématique.

Cet article a pour objectif d'apporter un éclaircissement sur l'usage des réseaux de capteurs intelligents dans le monitoring industriel à travers un état d'art des applications récentes dans le domaine. Ensuite, cet article vise à proposer une démarche rigoureuse pour l'intégration d'un tel système dans un système de production. Finalement, il présente les verrous susceptibles d'être une entrave pour une éventuelle intégration. Ces verrous sont dus à la technologie mais aussi à des facteurs humains.

ETAT D'ART

En Septembre 1999, le magazine hebdomadaire Business Week présente les réseaux de capteurs sans fil, comme l'une des 21 technologies les plus importantes à développer au cours du 21ème siècle. Grâce à la contribution de l'agence américaine pour les projets de recherche avancées de défense "DARPA", par le biais de deux programmes DSN (Distrubed Sensor Network) et SensIT, les chercheurs ont mis au point des dispositifs électroniques intelligents appelés nœuds capteurs.

Dans la littérature, on retrouve plusieurs définitions de réseau de capteurs, nous retenons sans souci d'exhaustivité les deux définitions suivantes :

- Un réseau de capteurs sans fil est un système distribué de grande échelle, mettant en communication un grand nombre d'entités autonomes communément appelés capteurs sans fil [1].
- Un réseau de capteurs sans fil est un ensemble de nœuds capteurs, communiquant en liaison sans fil. Ces nœuds capteurs disposent d'une unité de stockage, d'une unité de traitement de données, d'unité de captage, d'une batterie d'alimentation et d'une interface de communication [2].

Suite aux grandes avancées dans le domaine de la microélectronique, qui ont contribué à la réduction des coûts des nœuds capteurs et par conséquent à la démocratisation de cette technologie, l'éventail des applications des réseaux de capteurs s'est élargi. En fait, ils s'ouvrent à une panoplie de domaines d'applications :

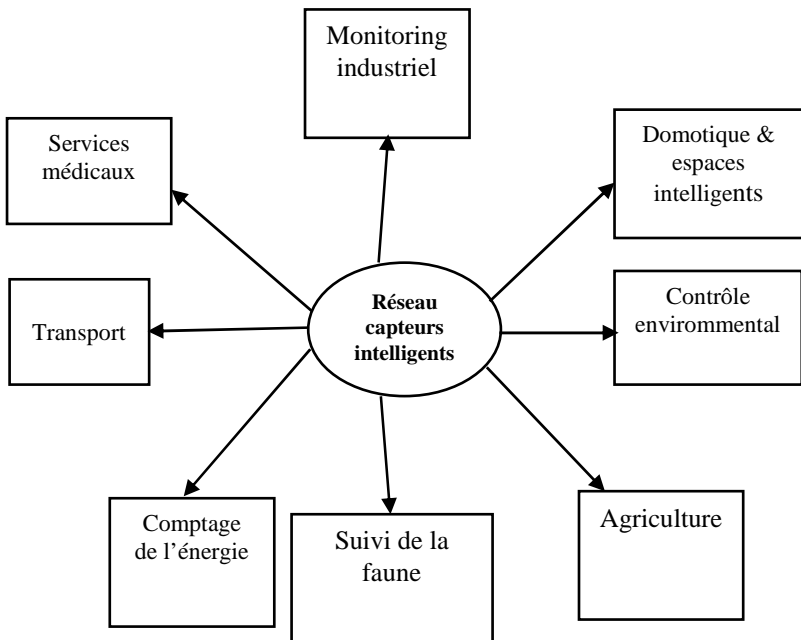


Fig. 1 Applications de réseaux de capteurs intelligents

L'état d'art suivante englobe, les récentes percés technologiques en matière de l'application des réseaux de capteurs intelligents pour une application de monitoring industriel.

Bombardier propose l'intégration d'un système à base de réseaux de capteurs intelligents capable de transmettre au sol, les données sur l'état de santé de l'avion durant le vol. Après

l'atterrissage, ces informations pourront être téléchargées via un système Wifi [3]. L'objectif de ce système intégré, vise à travers des mesures plus fines à contribuer à une meilleure analyse prédictive et des recommandations de maintenance mieux ciblées. De plus, la collecte et le traitement de ces données, permettront la numérisation des manuels techniques. L'accès aux informations par les équipes de maintenance, les équipes d'ingénierie, ainsi que les équipes de bord est assuré via des tablettes numériques.

D'autre part, Le motoriste britannique Rolls Royce fabriquant des moteurs propulsant des avions et des navires à travers le ciel et les océans, a doté ces moteurs par des centaines de capteurs intelligents, qui enregistrent chaque petit détail de leur fonctionnement et signalent tout changement ou dégradation en temps réel au centre de contrôle [4].

Grâce à des techniques analytiques couplées avec une forme d'intelligence artificielle, on pourrait aboutir à une analyse automatisée, et optimiser la maintenance prédictive. Celle-ci permettra de modifier les réglages des paramètres de fonctionnement et d'identifier les actions de maintenance à entreprendre à l'avance, de sorte que les compagnies aériennes puissent planifier des interventions sans pénaliser les usagers. D'autre part ce type de maintenance permet une gestion aisée de l'approvisionnement pour avoir un stock optimal de pièces de rechanges avec un délai de livraison optimisé afin de couvrir tous les aéroports du monde.

Dans l'industrie des voitures de la formula 1, chaque voiture est équipée de plus de 200 capteurs intelligents, qui surveillent en temps réel une multitude d'éléments comme le moteur, le rendement énergétique sans oublier, la température des pneus et des disques de frein. Grâce à une infrastructure sans fil à haut débit, des mégadonnées sont transmises pour le staff technique, afin d'en tirer des conclusions et procéder à des modifications adaptées en temps réel, pour gagner la course [5].

Le groupe Thyssenkrupp Ascenseurs, qui dispose d'un parc de 1,1 millions d'ascenseurs, à surveiller chaque année ; vise à repousser les limites de la maintenance en proposant des ascenseurs avec une longévité radicalement améliorée [6]. En connectant les capteurs intelligents et les systèmes des ascenseurs au cloud, le groupe pourrait collecter les informations qui alimentent le système de monitoring. Ainsi, lorsque l'ascenseur rapporte un problème, il envoie un code d'erreur avec trois ou quatre causes les plus probables relatives à ce code. Ceci présente un intérêt majeur dans la mesure où on dispose d'une vision concernant quel ascenseur a besoin de maintenance et à quel moment. Ce sont les ascenseurs qui anticipent eux même les réparations dont ils ont besoin.

L'entreprise Wonderware [7] a fourni à l'un de ses clients, un système d'analyse prédictive à base de réseau de capteurs intelligents pour identifier une légère variation dans les batteries de condensateurs. En effet, au lieu d'attendre la défaillance d'un plus grand nombre de condensateurs, on reçoit une alerte notifiant le début de dégradation de fonctionnement, grâce à l'utilisation d'un logiciel qui traite les données collectés par les capteurs.

Dans le domaine naval, [8] s'intéresse au diagnostic à distance de l'huile de lubrification marine, à l'aide de capteurs intelligents, en développant un logiciel pour surveiller en continu le système de lubrification d'un navire. Ceci, dans le but d'avoir une compréhension précise de l'état de l'usure du moteur, qui est l'élément principal dans le système de propulsion d'un navire.

III. DEMARCHE POUR L'INTEGRATION DE RESAU DE CAPTEURS INTELLIGENTS

Le marché des réseaux de capteurs est en cours de développement, les industriels sont toujours à la recherche de prestataires, pour l'intégration de ces réseaux intelligents pour la mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents.

L'intégration d'un réseau de capteurs intelligents pour un système de télésurveillance nécessite une démarche rigoureuse. Cette intégration consiste, entre autre, en une destruction de l'ensemble des barrières techniques, organisationnelles et humaines qui entravent la mise en œuvre des réseaux de capteurs pour le système de télésurveillance dédié au système de production. Ainsi, dans ce travail de recherche nous allons essayer de développer une démarche pour l'intégration de des réseaux de capteurs intelligents qui prend en considération tous les aspects nécessaires pour la réussite et le développement de cette démarche.

A. Etat des lieux

Avant de commencer un travail de déploiement et d'intégration, il est toujours recommandé de définir l'état de l'existant. Dans cette étape, l'objectif est de collecter les données sur les machines du système de production ainsi que le capital humain pour avoir une cartographie des compétences dont on dispose. En effet, l'une des règles de la télésurveillance est de ne pas traiter tous les équipements sur le même pied d'égalité. C'est pourquoi il est commode de focaliser la fonction de télésurveillance sur les machines critiques.

B. Faisabilité

Cette étape portera sur une étude budgétaire pour l'entreprise pour déterminer la capacité de l'entreprise en premier lieu avant d'appliquer la démarche. En deuxième lieu, l'étude portera sur la faisabilité technique, en faisant le parcours des différentes technologies et aspects techniques liés au réseau de capteurs intelligents.

C. Cahier des charges

Elaborer un cahier des charges fixant le cadre d'utilisation de réseau de capteurs intelligents, et les principaux objectifs recherchés, ce cahier des charges devrait mettre le point sur les axes suivants :

- **Typologie de capteurs à installer :**

Une fois le choix des équipements à surveiller est fait, l'étape suivante consiste à choisir les types de capteurs à installer sur les machines, c'est-à-dire identifier les grandeurs physiques et les paramètres significatifs avec les capteurs qui correspondent à leurs mesures [9].

- **Positionnement des capteurs :**

L'installation des capteurs qui collectent les données du système de production doit être établie suite à une étude préalable. En effet, certains capteurs donnent des valeurs erronées suite à un mauvais emplacement ou non-respect des consignes du fabricant. A titre indicatif, la transmission de données peut être altérée à cause de la présence d'obstacles au voisinage du capteur. D'autre part, la présence d'une source de chaleur ou les poussières dans l'air ambiant peuvent fausser les mesures [9].

- **Architecture du réseau de capteurs :**

Tous les capteurs respectent globalement la même architecture basée sur un noyau central autour duquel s'articulent les différentes interfaces d'entrée-sortie, de communication et d'alimentation [9].

- **Etablissement des algorithmes d'apprentissage et de diagnostic :**

L'information la plus complète possible est extraite à partir des signaux délivrés par les capteurs sous forme d'indicateurs. Cette information est traitée ensuite pour la rendre plus robuste et plus pertinente, l'ensemble d'indicateurs pertinents est utilisé par la suite comme vecteur d'entrée aux classificateurs permettant d'assigner les différentes instances et observations aux modes de fonctionnement [10]. Ces opérations nécessitent des algorithmes d'apprentissage et de diagnostic

- **Choix de protocole de communication**

Il est impératif que les réseaux sans fil déployés, n'interagissent pas sur les équipements électroniques existants, de plus ils ne doivent pas interférer entre eux et utilisent des mécanismes permettant leur coexistence dans la même bande passante. D'où la nécessité de faire le bon choix du protocole de communication tout en tenant compte de la consommation de l'énergie. En milieu industriel, le déploiement réseau sans fil nécessite un certain niveau d'expertise et une connaissance en matière de caractéristiques de chaque protocole de communication.

- **Emplacement de la salle de télésurveillance :**

L'emplacement de la salle doit être pertinent, dans la mesure où il doit répondre à certaines exigences (éviter les

espaces confinés, respect de l'ergonomie, isolation contre le bruit)

D. Déploiement

Cette étape se manifestera sous forme de plans d'action de déploiement et d'implantations des différents préparatifs élaboré dans le cahier des charges, ainsi que le suivi par des actions pour la bonne mise en œuvre.

E. Gestion d'interfaces de visualisation

Afin d'être informés en continu par les valeurs collectées par les capteurs installées sur les équipements ainsi que les alarmes générées, et d'avoir en permanence la possibilité d'accéder partout au système de télésurveillance (in situ ou à l'externe), on aura besoin d'une plateforme permettant notamment d'obtenir la liste des capteurs ainsi qu'une cartographie du réseau. Ceci est possible grâce aux interfaces Web, ainsi que des smartphones et des tablettes.

F. Construire une plateforme de développement et de formation

Cette plateforme vise aussi, à accompagner l'évolution des métiers et des nouvelles compétences. En fait, La diversité des profils du personnel et le niveau des acteurs du système de télésurveillance impose une formation selon la vocation de chaque intervenant. Ceci pour éviter les dysfonctionnements du système engendrés par le facteur humain.

G. Standardisation et amélioration continue

La dernière étape mettra en lumière la standardisation de toutes les procédures de mise en œuvre, afin de qualifier les algorithmes, élaborer des standards techniques, des guides de choix et des règles de la mise en œuvre, tout en exploitant le retour d'expérience. Elle fera aussi le point de réflexion sur l'amélioration future.

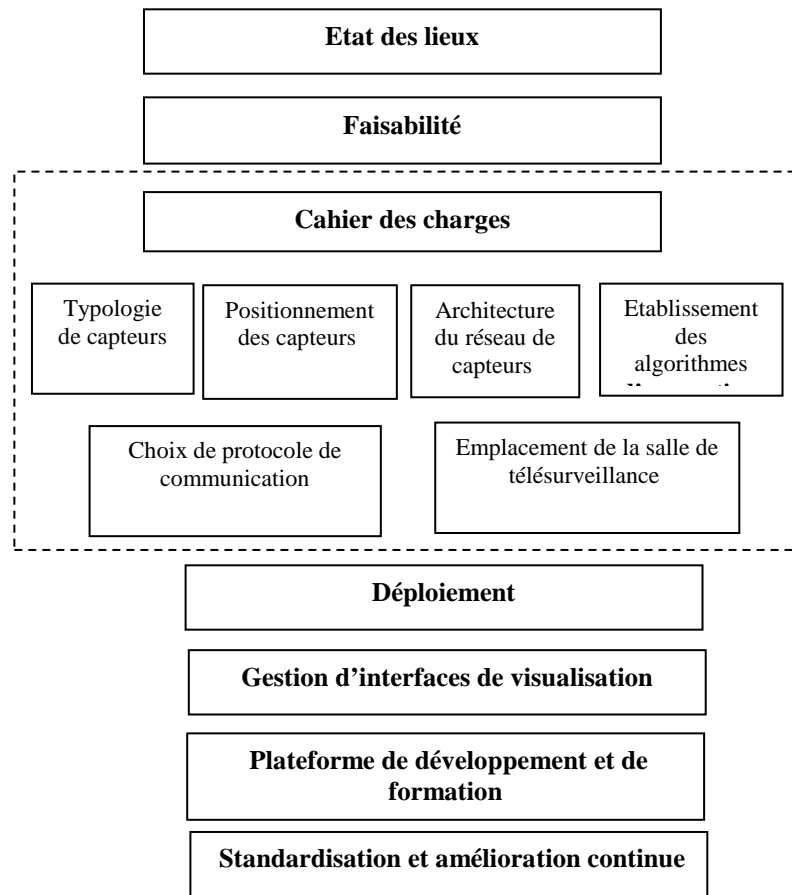


Fig. 2 Démarche globale d'intégration de RCI

IV. VERROUS POUR L'INTEGRATION DE RESEAU DE CAPTEURS INTELLIGENTS

La mise en œuvre et l'intégration des technologies de réseau de capteurs dans l'entreprise pour une exploitation en maintenance évoquent certaines problématiques. Celles-ci peuvent être classées selon des problématiques et verrous d'ordre : technique, financier, juridique relatives à la sécurité numérique, d'autres relatives à la résistance au changement, aux ressources humaines, au caractère hétérogène des données, et à la standardisation.

A. Verrou technique

Le déploiement des réseaux de capteurs nécessite la mise en place de plusieurs systèmes à savoir, le système de réseau de capteurs intelligents, les protocoles de communication, le système de stockage de données et le système d'analyse prédictive. De plus, il faut réfléchir aux outils qui permettront d'interfacier l'ensemble de la chaîne du réseau de capteurs : capteurs, plateformes et logiciels. Il faut aussi mentionner la maintenance de ces systèmes, ainsi que la transmission des données dans un environnement critique, dans lequel ces

capteurs, doivent être capables de communiquer leurs positions et leurs mesures, via une connexion fiable et permanente. D'autre part, la gestion de l'acquisition des mégadonnées, avec le stockage et le traitement constitue une problématique relative au Big Data qui s'y rattache, pour le service maintenance. Cette problématique technique pourrait accentuer davantage la lourdeur des processus de décision.

B. Verrou financier

L'intégration des réseaux de capteurs pour un système de production dans l'entreprise, nécessite un investissement. Les études économiques établies par les fabricants ou organisations d'études de marché tels qu'ARC Advisor Group montrent que le retour sur investissement attendu est de l'ordre de 10% pour l'investissement (CAPEX) et de 20% pour l'exploitation (OPEX). Néanmoins, lorsqu'un industriel veut investir dans cette technologie, son investissement va beaucoup plus loin que l'acquisition et l'exploitation de la technologie [11]. Cet investissement initial est destiné à la formation de son personnel au produit (instrument, protocole réseau), à de nouvelles compétences, et aussi l'adaptation de ses manuels de maintenance.

C. Verrou lié à la réticence et à la résistance au changement

L'intégration d'une nouvelle technologie engendre souvent des résistances qui sont dues à l'incertitude des performances et de la maîtrise de ces nouvelles technologies, ce qui pourrait contribuer à une absence d'envie et une méfiance de la part des techniciens ou des exploitants. En effet, le fait de mettre les tablettes qui permettent l'interfaçage des données à la disposition de ces derniers peut être considéré comme un fardeau et un travail de plus qui les incitera à fournir un effort supplémentaire, et qui va les obliger à rester en suivi permanent du système de production.

D. Verrou juridique et de sécurité numérique

Elle concerne les aspects légaux, les nouveaux modèles et les cadres juridiques d'utilisation des réseaux de capteurs intelligents. Ces cadres juridiques traiteront aussi, le secret industriel et les données sensibles du service maintenance et en général de l'entreprise. La question qui se posera concernera l'exploitation des autres entreprises des données propres à une entreprise donnée. Le cadre juridique touchera aussi la sécurité numérique des données, puisqu'ils peuvent être sujets à des sabotages ou des attaques par des virus informatiques qui constituent des attaques virtuels, pouvant avoir des répercussions physiques.

E. Verrou de nouvelles compétences

Afin de gérer les systèmes de monitoring industriel à base de réseau de capteurs intelligents, le service de maintenance se trouvera dans l'obligation d'intégrer de nouvelles compétences et de nouveaux métiers. Ceux-ci concerneront le

déploiement des capteurs intelligents, les interfaces qui y sont rattachées et la gestion des mégadonnées.

F. Verrou de standardisation

Pour un service de maintenance, l'hétérogénéité que représente les capteurs connectés ainsi que les données qui s'y rattachent, ainsi que les entités avec lesquelles ils interagissent, exige une architecture standard qui doit être évolutive et flexible. D'autre part, les protocoles de communication adoptés dans le cadre des réseaux différent d'une entreprise à une autre d'où la nécessité de réfléchir à une standardisation de ces protocoles.

G. Verrou d'hétérogénéité des données

Les mégadonnées qui résultent des réseaux de capteurs intelligents peuvent être des valeurs numériques ou des multimédias (photos et vidéos des installations), parfois couplées à des données symboliques (rapport d'interventions, historiques d'interventions). Ceci présente un défi majeur pour les systèmes de traitement qui auront des entrées hétérogènes de très grande taille et de nature très diversifiée. D'où la nécessité d'un outil qui permet de renvoyer des résultats aux spécifications précises, pour l'aide à la décision d'un responsable du service de maintenance. Dans ce contexte une fonction de hachage, couplée à une forme d'intelligence artificielle est nécessaire.

V. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté les applications récentes des réseaux de capteurs intelligents dans le domaine du monitoring industriel, à travers un état d'art synthétique. Ensuite nous avons présenté notre démarche pour l'intégration de tels réseaux dans le cadre d'un système de télésurveillance. Finalement, nous avons mis l'accent sur les verrous et les problématiques qui peuvent présenter un obstacle pour l'intégration et la mise en œuvre.

Comme perspectives de ce travail, il est commode de réaliser une enquête menée auprès des entreprises industrielles marocaines qui opèrent dans différents secteurs. Cette enquête constituera un diagnostic de l'état d'intégration de tels systèmes pour les entreprises marocaines, afin d'évaluer les verrous face à l'intégration et au déploiement d'un réseau de capteurs pour un système de télésurveillance sur le plan stratégique et opérationnel. Une réflexion sur des solutions aux verrous évoqués est aussi primordiale.

Références

- [1] I. Akyildiz, W.Su, Y. Sankarasubramaniam Y, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", Computer Networks. Vol, 38, 2002.
- [2] C. Duran-Faundez, transmission d'images sur les réseaux de capteurs sans fil sous la contrainte de l'énergie, Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy 1, 23 Juin 2009.
- [3] <http://www.usine-digitale.fr>, article "les big data ouvrent l'ère de l'aéronautique de service», 09 Juin 2015 à 07H00.
- [4] <http://www.ilovemybi.com>, "Big data chez Rolls-Royce: le succès de la maintenance prédictive", 2015.
- [5] <http://www.intel.fr>, article « la F1 sur la voie rapide des nouvelles technologies ».
- [6] <http://www.alliancy.fr>, "Quand l'industrie explore le big data", Alliancy, le mag, 16 Juin 2015.
- [7] <http://ideas.microsoft.fr>, intelligence des données, "trouver des leviers de compétitivité grâce aux systèmes intelligents", 17 Décembre 2014.
- [8] Baglee D., « Diagnostic à distance de l'huile de lubrification marine à l'aide de systèmes de capteurs intelligents », Magazine of Marine Maintenance Technology International, Octobre 2014.
- [9] M. Ramadany, et D. Amegouz, Mise en œuvre d'un système de télésurveillance à base de capteurs intelligents pour un système de production, Congrès Production Intégrée, CPI 2015, Tanger, Décembre 2015.
- [10] I. Khelef, Diagnostic des machines tournantes par les techniques de l'intelligence artificielle, Thèse de doctorat, Université Badj Mokhtar, Annaba, 2013.
- [11] J. Gagnière, et J.R. Macé, Capteurs intelligents : enjeux et perspectives, R465, techniques de l'ingénieur, 10 Mars 2015.

Etude comparative des plans intégrant la maintenance et la production sous contrainte de la sous-traitance

Sanae Aarab*, Abdellah El Barkany, Ahmed El Khalfi

Laboratoire Génie Mécanique, Faculté des Sciences et Techniques, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès, BP 2202 – Route d’Imouzzer – FES – MAROC

*Auteur correspondant

Résumé — Cet article vise à présenter une revue de littérature sur des plans intégrant la maintenance et la production pour un ensemble de types des systèmes manufacturiers. Plusieurs travaux dans la littérature ont traité les plans de la maintenance, les plans de la production et la sous-traitance, c’est le sujet de la première partie de l’article. Cependant peu de recherche ont été réalisées sur la planification intégrée de ces deux activités d’une part, et la modélisation des systèmes de production sous contrainte de la sous-traitance d’autre part, ensuite nous allons établir une étude comparative détaillée sur l’ensemble des modèles traitant les plans intégrés des systèmes de production avec différentes méthodes d’optimisation et considérant les contraintes de périodicité et de dépendance économique ainsi que la sous-traitance qui peuvent générer une réduction des coûts globales.

Mot-Clé — *Planification Intégrée, Maintenance, Production, sous-traitance, système de production.*

I. INTRODUCTION

De nos jours la modélisation impose une remise à plat des politiques de gestion industrielle. Cette remise à plat est nécessaire pour la survie des entreprises évoluant dans un contexte de concurrence exacerbée et sans limite. Dans ce contexte, les entreprises ont de plus en plus recours à de nouvelles méthodes d’organisation basées sur plus de coopération et de coordination entre elles. La production et la maintenance sont deux fonctions primordiales au sein d’une entreprise manufacturière et la pérennité de la première dépend de la bonne mise en œuvre de la seconde. Néanmoins, la planification de la production et celle de la maintenance sont effectuées séparément sans que l’une prenne en considération les contraintes de l’autre. En effet, la planification de la production a fait état d’un bon nombre de critiques concernant les problèmes de synchronisation entre les différents plans : stratégique, tactique et opérationnel et entre les différentes entités de la chaîne logistique. Cette désynchronisation est souvent liée à des aspects aléatoires tels que la modification des demandes, les arrêts non planifiés de la production (les pannes), les retards de livraison, etc.

Pour les entreprises d’aujourd’hui, la réduction des coûts et des délais sont devenue l’objectif principal donc les politiques de maintenance traditionnels ne permettent pas d’assurer la pérennité ainsi que la croissance durable. Pour répondre à cet

objectif, les entreprises font appel souvent à la sous-traitance qui est devenue la règle et non l’exception. La sous-traitance est un outil important pour augmenter la compétitivité des entreprises et un moyen pour faire face à la complexité croissante des techniques pouvant générer dans certains cas un déficit de connaissance et de savoir-faire. Ceci impose une nouvelle contrainte dans la gestion de la maintenance.

II. REVUE DE LITTÉRATURE

A. Définition d’un système de production

Toute entreprise cherche d’en tirer un maximum de bénéfice en produisant des biens et des services destinés à satisfaire les besoins des clients. La fonction de production est l’activité de transformation des flux de matières premières et d’informations en produits finis, grâce aux ressources de production que sont les machines et les hommes. Dans le souci d’une meilleure rentabilité et dans le but d’assurer sa croissance, une entreprise doit pouvoir répondre à des questions relatives à sa production à savoir : quoi produire, en quelle quantité, dans quel délai, à quel coût ?...

Créer un système de production a comme objectif d’accomplir une mission de production des biens ou de services, dans des délais raisonnables et à un coût optimisé afin de satisfaire la demande des clients. Alors les industriels sont de plus en plus demandeurs d’optimisation de leur processus de production et d’améliorer le rendement des outils de production tout en minimisant les coûts correspondants.

Chaque entreprise est unique de par son organisation et la spécificité des produits qu’elle fabrique [1]. Toutefois, nous pouvons classer les entreprises selon les critères suivants :

- ✓ Quantités fabriquées et répétitivités
- ✓ Organisation des flux de production
- ✓ Relation avec le client

Malgré que ces critères ne soient pas exhaustifs, ils permettent de cerner le type d’une entreprise. La typologie de production conditionne le choix des méthodes de gestion de production et la stratégie de maintenance qui en suit et qui sont les plus adaptées. La figure 1 montre les interactions possible entre les différents éléments d’un système de production.

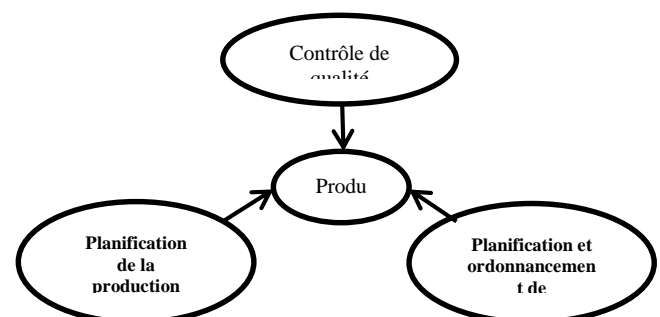


Figure 1 : La planification classique pour la production

B. La maintenance séparée à la production

La fonction maintenance a un rôle important dans le système de production, car elle permet d'accroître les performances, d'assurer la pérennité des équipements et de veiller à ce que le système soit suffisamment disponible. Malheureusement, dans un monde industriel où les notions de réactivités, de coûts et de qualité il est vital de s'appuyer sur un système de production robuste et performant à tout instant, il est difficile pour les fonctions qui ont des liens très étroits avec la production de s'imposer.

En effet, les liens intrinsèques de la production avec des fonctions mitoyennes, et particulièrement la maintenance, créent une situation conflictuelle entre ces deux fonctions qui partagent les mêmes ressources. De plus, la maintenance est souvent vue comme une source de perturbation supplémentaire pour la production. En conséquence, les ressources sont toujours considérées comme disponibles lors de la planification de la production et les activités de maintenance sont souvent planifiées dans des créneaux horaires visant à limiter autant que possible les arrêts programmés de la production. Cette façon de faire aura des répercussions conséquentes sur le système de production étant donné que le retard d'une activité de maintenance préventive augmentera inéluctablement le nombre de pannes sachant que le coût engendré par une panne peut être largement plus important que celui d'un arrêt de la production prévu et planifié pour la maintenance.

Remarque. – le fait que la production et la maintenance sont deux fonctions primordiales au sein d'une entreprise manufacturière et la pérennité de la première dépend de la bonne mise en œuvre de la seconde. Néanmoins, la planification de la production et celle de la maintenance sont effectuées séparément sans que l'une prenne en considération les contraintes de l'autre, ce qui entraîne généralement des perturbations en gestion de production et d'une manière globale dans la gestion de la chaîne logistique.

C. La maintenance intégrée à la production

De nos jours, l'évolution dans la manière d'aborder les problèmes par les entreprises, les modifications au niveau des structures et les changements en matière de gestion conduisent forcément à la coopération entre les services production et maintenance. Indépendamment de ces contextes, les problèmes liés à la gestion et à l'optimisation de la production sont cruciaux pour les industriels qui cherchent sans cesse, d'une part, à accroître leur productivité tout en minimisant les coûts afférents (mise en œuvre, fabrication, utilisation des ressources,

stockage...), et d'autre part, à respecter de nombreuses exigences qu'elles soient de nature économique, sanitaire ou commerciale. Il est alors nécessaire de concevoir des outils d'optimisation et d'aide à la décision efficaces et adaptés aux difficultés que rencontrent les industriels vis-à-vis de l'organisation de leur production.

La plus part des recherches trouvées dans la littérature traitant les problèmes de la gestion de la production, les ressources (équipements ou machines) sont toujours considérées comme disponibles à tout moment ou éventuellement durant une certaine durée. Par conséquent, les tâches de maintenance d'une entreprise ne sont jamais prioritaires sur ceux de la production, pour effectuer des interventions préventives.

Ces dernières années, il y a une émergence des recherches qui abordent les problèmes de la maintenance intégrée à la production simultanément, surtout qu'il a été prouvé que la gestion de la maintenance est étroitement liée à la structure du système de production et à la nature des demandes. Mais avec la diversification de la demande et la concurrence qui devient plus rude, les entreprises sont parfois appelées à répondre à des demandes supérieures à leurs capacités de production afin de ne pas perdre les clients. Suite à ce constat, les entreprises font appel à la sous-traitance pour faire face à ce problème. À cet effet, nous allons analyser une revue de littérature couvrant la planification intégrée de la maintenance et de la production pour différents types de systèmes. Nous avons classé la stratégie intégrée par les travaux des auteurs en deux grands axes de recherche.

1) Première axe de recherche : Couplage de la maintenance et de la production

Le couplage entre la maintenance et la production et plus particulièrement leur ordonnancement conjoint est, relativement, peu étudié et assez récent dans la littérature. La plupart des travaux concernant les relations Production/Maintenance utilisent des approches probabilistes dans le but de déterminer le meilleur moment pour planifier une opération de maintenance en fonction d'un compromis entre le coût de la maintenance et le risque de perte de disponibilité des machines.

Parmi les premiers auteurs qui ont traité le problème de la maintenance et de la production, nous trouvons [2] qui a étudié le rôle d'un stock intermédiaire sur l'augmentation de la productivité d'un système. Cheung et Hausmann [3], ont proposé une optimisation conjointe du stock stratégique et de la politique de maintenance du type âge. Dans un contexte de juste à temps, [4] et [5] ont proposé un modèle de simulation afin d'évaluer les performances d'une ligne de production fonctionnant en flux poussé.

Le contrôle des systèmes de production soumis à la maintenance préventive a été traité par [6] qui ont développé des approches analytiques et par simulation, basées sur les modèles markoviens. D'autres comme [7], [8] et [9] ont examiné la stratégie de construction de stock de sécurité pour faire face aux demandes, pendant les périodes d'interruption de production, dues aux actions de maintenance. Ben-Daya [10] à son tour, a étudié les conditions de construction d'un stock de

sécurité basé sur la quantité économique de commande, notée EMQ (Economic Manufacturing Quantity).

Remarque : Le couplage de la maintenance et de la production appelé aussi maintenance intégrée a fait l'objet de plusieurs recherches ces dernières années. Il a été prouvé que la gestion de la maintenance est étroitement liée à la structure du système de production et à la nature des demandes. La gestion de la production doit inéluctablement tenir compte de la gestion de la maintenance et inversement.

2) *Deuxième axe de recherche : Planification intégrée sous contrainte de la sous-traitance*

Dans le domaine de système industriel, les relations entre les entreprises s'orientent vers plus de coopération et collaboration. Dans ce contexte, beaucoup d'entreprises emploient la sous-traitance pour indemniser de la technologie inadéquate, fabriquer un produit en compétition ou respecter des délais de livraison.

Les nouvelles stratégies de maintien/production qui prennent en compte la sous-traitance sont étudiées par [11] considèrent une machine seule prévoyant le problème avec l'externalisation de permis. Dahane [12] et [13] ont développé et optimisé une nouvelle politique de maintenance incorporant les contraintes de sous-traitant. Il traite une étude de cas qui démontre l'influence des contraintes de sous-traitant de la stratégie de maintenance optimale adoptée. Après ces résultats, [14] ont continué dans le même contexte pour traiter le même problème, mais avec deux sous-traitants. D'abord, ils ont considéré la stratégie du sous-traitant simple. Dans cette stratégie, ils ont considéré deux sous-traitants, qui diffèrent dans leur coût de production d'unité et leur disponibilité. Ils ont prouvé que le choix économique de sous-traitant simple seulement lié au coût unitaire pour perdu. Deuxièmement, ils ont défini la politique de commutation entre les sous-traitants, qui est de compter sur un sous-traitant, commutant ensuite à un autre. Traitant aussi ce cadre, [15] ont étudié analytiquement le problème de l'intégration d'activité de sous-traitant et le nombre de tâches de sous-traitant à être exécutées pendant un cycle de maintenance. Pour leur partie, [16] ont proposé un modèle analytique pour optimiser la maintenance et la production dans le contexte de sous-traitance en intégrant un stock pour compenser des pertes en raison de l'indisponibilité du donneur de machines du sous-traitant. Dellagi et al. [17] ont développé une politique de maintenance intégrée pour un système industriel soumis à un échec aléatoire et à un appel à plusieurs machines de sous-traitant pour satisfaire une demande constante. Hajej et al. [18] ont étudié le problème des coûts de maintenance, d'optimisation analytiquement conjointe, la production et la sous-traitance de considération de coûts de stock et des retours de produit.

III. ETUDES COMPARATIVE

A. La planification intégrée

Ces dernières années, les modèles qui tentent d'intégrer la production, la qualité et la maintenance a eu un intérêt considérable ([19] ; [20]). Alors que dans le passé, ces aspects ont été traités comme des problèmes séparés, de nos jours les modèles prennent en compte les interdépendances.

Planification de la production concerne généralement la détermination de la taille des lots et l'évaluation des besoins de capacité, en cas de fluctuations de la demande. Tant la taille du lot optimale et la capacité des besoins sont exécutés par des échecs. D'autre part, la maintenance empêche les pannes et améliore la qualité. Par conséquent, ils doivent être planifiés de manière intégrée.

Pour avoir une vue globale et plus complète de la chaîne de production il faut créer des liens entre la production et la maintenance, ce qu'on appelle la maintenance intégrée. La figure 2 présente un modèle d'intégration entre la maintenance et la production.

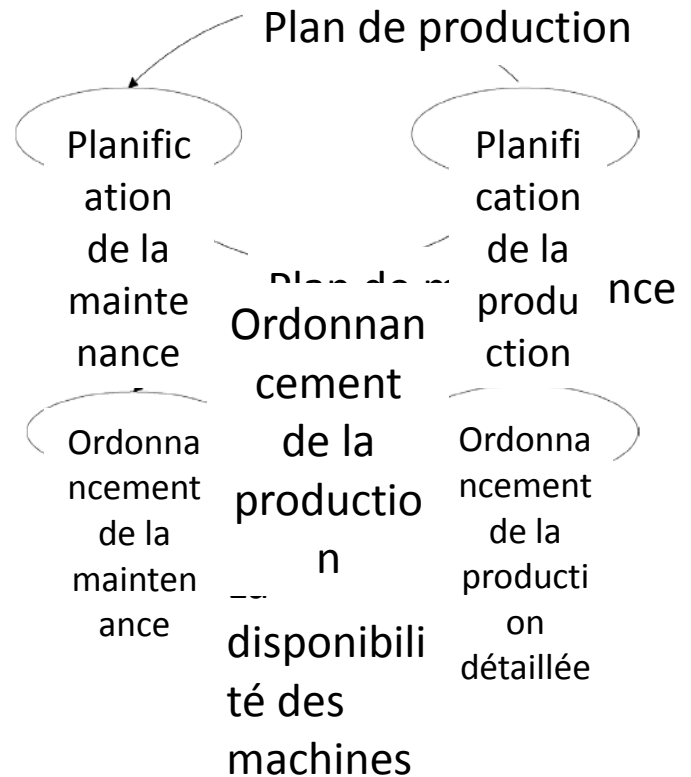


Figure 2 : modèle d'intégration entre la maintenance et la production

On trouve dans la littérature de nombreuses études se basant sur cette approche, cependant les chercheurs ont diverses manières d'appréhender et de caractériser le problème. Ceci ne permet pas de faire aisément une classification des articles traitant ce sujet.

Notre étude bibliographique montre tout d'abord que la plupart des auteurs [21], [22], [23], [24], [25] et [26] a opté pour une approche intégrée et a résolu un problème statique. C'est à dire ces auteurs considèrent les opérations de maintenance et de production simultanément, et les caractéristiques de l'ensemble des tâches à exécuter sont connues a priori. Par contre, ils ne s'intéressent pas forcément au même niveau de décision. Certains auteurs proposent de réaliser les tâches de maintenance au cours d'arrêts des machines programmés pour d'autres activités. Même cas de [27] qui coordonnent les opérations de

maintenance avec les inspections du contrôle qualité. D'autres se positionnent au niveau de la planification [25], ont testé l'hypothèse que l'intégration de la politique de maintenance avec la planification agrégée influence significativement la réduction du coût total. Finch et Gilbert. [28] traitent le cadre conceptuel intégrée pour la maintenance et la production dans lequel ils présentent en particulier la question de la main d'œuvre dans les actions de maintenances correctives et préventives.

Ensuite, d'autres articles ont traité le problème de la maintenance et de la production, nous trouvons [2] qui a étudié le rôle d'un stock intermédiaire sur l'augmentation de la productivité d'un système. Cassady et Kutanoglu [29] qui ont proposé un modèle analytique intégré pour minimiser le retard total pondéré. Pour ce même type de problème, [30] proposent une résolution basée sur un algorithme évolutionnaire. L'objectif de leur article consiste à considérer que la politique de maintenance est constituée de maintenances préventives pouvant être réalisées avant chaque job. Benbouzid-Sitayebet [31] dans leurs travaux ils ont comparé les stratégies séquentielle et intégrée. Dans Ruiz et al. [32], les auteurs considèrent la réalisation de n jobs sur m machines. Nous pouvons citer, entre autres, les travaux menés par [33] qui ont analysé les effets combinés entre les politiques de production et de maintenance préventive d'un point de vue monétaire. Cheung et Hausmann [34] ont cherché à optimiser simultanément un stock avec une politique de maintenance de type âge. Plus récemment, Chelbi et Ait-Kadi [9] ont considéré une unité de production à l'entrée d'une chaîne de montage fonctionnant avec un mode de production juste à temps. Rezg et al. [8] ont présenté une optimisation conjointe entre une politique de maintenance préventive et la gestion d'un stock, dans le cas d'une ligne de production constituée de machines. Kenné et Gharbi [35] ont étudié l'optimisation stochastique de la gestion de production couplée à des activités de maintenances correctives et préventive. Dans les travaux d'Aghezzaf et al. [36] l'objectif consistait à déterminer, conjointement, les plans de production et de maintenance de manière à minimiser les coûts totaux. Lee et Sung [11] considèrent un problème d'ordonnement d'une seule machine avec la sous-traitance autorisée. Naderi et al. [37] a présenté un environnement de planification de l'atelier de travail qui a des temps de configuration séquence-dépendante, et qui est soumis à des politiques de maintenance préventive. Dans ce cadre, le processus de base et les caractéristiques de fiabilité et de maintenabiliter du système sont déterminés dans la phase de conception avec la sélection de la structure du système et ses composants.

Récemment dans le Modèle d'optimisation des taux de production et de la maintenance, [38] ont étudié l'effet de la politique de maintenance préventive et l'âge de la machine sur le niveau du stock de sécurité optimale. Surtout que l'âge de la machine augmente, la construction d'un niveau de stock significatif permet de faire face aux pannes aléatoires. L'objectif de l'étude est de déterminer quand doit on effectuer une maintenance préventive, ainsi que le niveau su stock de sécurité à maintenir. Hajjej et al [39] se sont intéressés à

l'intégration entre un plan de production et un plan de maintenance associés à un système manufacturier. Les travaux qui proposent des modèles qui tentent d'intégrer la production, la qualité et la maintenance [40]. Wang et Liu [41] leurs objectif est de réduire au minimum le total prévu du temps d'achèvement pondérée des travaux. Pour résoudre ce problème, nous développons une branche et un algorithme (B & B) attaché. Plusieurs limites inférieures, des règles de dominance et des limites supérieures sont développés pour améliorer la performance du B & BA. Expériences de calcul approfondies sur les problèmes générés aléatoirement avec des configurations différentes sont menées et les résultats montrent que la méthode proposée peut trouver des solutions optimales pour des problèmes avec jusqu'à 18 emplois dans une quantité raisonnable de temps de calcul. Lu et al. [42] ont trouvé un calendrier robuste et stable pour une seule machine avec des contraintes de disponibilité. La machine subit des pannes inattendues et suit la fonction de défaillance Weibull et proposé un modèle pour intégrer la maintenance préventive sur la base d'exécution (PM) dans le problème de la planification de la production.

D'après [43] les modèles de planification de la maintenance intégrée à la production sont subdivisés en quatre catégories, dont le but est de trouver le taux de production et de la maintenance préventive et corrective des machines de manière à minimiser le coût total de l'inventaire, de la production et de la maintenance. En conséquence, la maintenance et la production doivent être planifiées de manière intégrée.

Synthèse :

Au terme de cette revue bibliographique sur le concept de la maintenance intégrée, nous notons que les stratégies de maintenance à elles seules, ne permettent pas d'assurer la survie et le développement durable pour les entreprises d'aujourd'hui dans un environnement économique où la concurrence est de plus en plus difficile, les marchés sont moins stables, les technologies utilisées sont de plus en plus sophistiquées. Face à cette situation, les entreprises se tournent vers une autre stratégie appelée la sous-traitance ou l'externalisation. Le tableau suivant est un récapitulatif des modèle présentés dans cette section.

Tableau 1 : Maintenance et modèles de planification intégrée

Catégorie	Modèles
Une seule machine	Cassady et Kutanoglu (2003) ; Sortrakul et al. (2005) ; Cassady et Kutanoglu (2003) ; Cassady et Sortrakul et al. (2005) ; Cassady et Kutanoglu (2005). Kuo et Chang (2007) ; Yang et al. (2002), Liao et Chen (2003), Sadfi et al. (2005), Raza et al. (2007), Low et al. (2008, 2010), Chen (2009)
Problème statique	(Qi et al. 1999), (Graves et Lee, 1999), (Brandolese et al. 1996), (Lee et Chen, 2000), (Rishel et Christy, 1996), (Weinstein et Chung, 1999), (Ben-Daya et Makhdoum, 1998).

Machines parallèles	Berrichi et al. (2009) ; Berrichi et al. (2010)
Job shop	Naderi et al. (2009)
Optimisation de la taux de production et entretien intervalles	Gharbi et Kenne (2000) ; Kenne et Boukas (2003 ; Kenne et al. (2003) ; Gharbi et Kenne (2005)
Inventaire Buffer modèles	Chelbi et Ait-Kadi (2004), Yao et al. (2005),
Maintenance et le contrôle du stock	(Buzacott, 1967) ; Srinivasan et Lee (1996) ; Pistikopoulos et al. (2000 ; Goel et al. (2003) ; Ben-Daya et Noman (2006) ; Aghezzaf et al. (2007) ; Kenné et al. (Kenné et al. 2007).

B. Comparaison des résultats pour les différents planings

En se basant sur l'étude bibliographique précédentes on a élaboré le tableau 2 qui représente une étude comparative pour la maintenance / production conjointe et les modèles de planification intégrée dans le cas de la sous-traitance sur la base de l'examen précédent.

Auteurs	Paramètres du système	Les variables de décision	Fonction Objectif	Réalisation majeur
Kenne et Gharbi (2000)	Une machine d'un type de produit, le système de production à trois états avec des temps dépendant vers le bas l'âge de la machine	Les taux de production et PM	Le coût escompté attendu de tenue de stock, carnet de commandes, la réparation et le PM	Les taux de production et de maintenance en tant que paramètres d'une politique du point dépendent de l'âge de la machine.
Gharbi et Kenne (2005)	machines à trois états multiples et des produits multiples	Les taux de production et PM	Temps continu du processus de chaîne de Markov	la politique de production est une structure de la plante de couverture et de la politique PM est une

				politique dépendant de l'âge
Cassady and Kutanoglu (2005) Sortrakulet al. (2005)	Système d'une seule machine	travail séquentiel et PM la planification d'une solution intégrant l'aide d'une variable binaire comme si oui ou non pour planifier une heure avant chaque travail	Total prévu du temps d'achèvement pondéré des emplois (de retard dans le deuxième document)	Relativement simple et pratique à mettre en place
Kenné et al. (2007)	Single-article trois états processus de production	Niveau de stock, intervalle PM	Le coût total de possession des stocks, la perte de ventes, PM et CM	la valeur de seuil de stocks augmente avec l'âge selon une structure en cage d'escalier
Lee (2008)	Multiétape multi-composants système de production	L'investissement des stocks et l'investissement de la PM	L'investissement total des stocks, le coût des stocks, le coût de fabrication, le coût du carnet de commandes, le coût de rupture de stock, l'investissement dans PM et le coût de retard	Investment approach to the problem
Naderi et al. (2009)	Job shop	Ordonnement de travail d'atelier avec la charge séquence-temps et les politiques PM	Minimiser le makespan	Ordonnement séquentiel le dépend le temps d'installation du job shops avec PM

Wang and Liu (2013)	système à une seule machine	production et Les taux PM	Le coût total de possession des stocks, des ventes perdues, PM et CM	Investissement aborde le problème
Lu et al. (2015)	Une seule machine machine à système avec l'échec d'incertitude	production et Les taux PM	l'intégration de l'exécution de maintenance préventive sur la base (PM) dans le problème de la planification de la production	La machine souffre de pannes inattendues et suit la fonction de défaillance Weibull

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

le résultat de cette recherche sur les notions de la fonction maintenance et du concept de la maintenance intégrée, nous notons que les stratégies de maintenance à elles seules, ne permettent pas d'assurer la survie et le développement durable pour les entreprises d'aujourd'hui dans un environnement économique où la concurrence est de plus en plus difficile, les marchés sont moins stables, les technologies utilisées sont de plus en plus sophistiquées. Face à cette situation, les entreprises se tournent vers une autre stratégie appelée la sous-traitance ou l'externalisation. Comme perspectives, nous allons étudier les cas de maintenance intégrée à la production sous-contrainte de la sous-traitance avec les dépendances économiques et stochastiques pour élaborer un modèle d'une stratégie optimale pour la planification intégrée en vue de minimiser les coûts de production tout en prenant en compte l'aspect de la sécurité pendant les étapes de la maintenance préventive pour un système de production.

References

- [1] Courtois, A., Martin-Bonnefous, C., et Pillet, M. (1995). Gestion de production. EO SUP, Éditions d'Organisation.
- [2] Buzacott, J.A. (1967) 'Lignes de transfert automatique avec tampon les stocks', *International Journal of Production Research*, Vol. 5, No. 3, pp.183–200.
- [3] Cheung, K.L. and Hausmann, W.H. (1997) 'Joint optimization of preventive maintenance and safety stock in an unreliable production environment', *Naval Research Logistics*, Vol. 44, No. 3, pp.257–272.
- [4] Abdelnour, G. and A. Smith, M.L. (1995) 'Effect of maintenance policies on just-in-time production system', *International Journal of Production Research*, vol. 33, p.565-585.
- [5] Chan, F.T.S. (2001) 'Simulation analysis of maintenance policies in a flow line production system', *International Journal of Computer Applications in Technology*, vol.14, p.78-86.
- [6] Gharbi, A. and Kenné, J.P. (2000) 'Production and preventive maintenance rates control for a manufacturing system: an experimental design approach', *International Journal of Production Economics*, Vol. 65, No. 3, pp.275–287.
- [7] Dohi T. and Shunji O. (2001) 'Optimal control of preventive maintenance schedule and safety stocks in an unreliable manufacturing environment', *International Journal of Production Economics*, vol. 74, p.147-155.
- [8] Rezg, N. (2004) 'Joint optimization of preventive maintenance and inventory control in a production line using simulation', *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 10, pp.2029–2046.
- [9] Chelbi, A. and Aït-Kadi, D. (2004) 'Analysis of a production-inventory system with randomly failing production unit submitted to regular preventive maintenance', *European Journal of Operational Research*, Vol. 156, No. 3, pp.712–718.
- [10] Ben-Daya, M. (2002) 'The Economic Production Lot sizing Problem with Imperfect Production Processes And imperfect Maintenance', *International Journal of Production Economics*, vol 76, p.257-264.
- [11] Lee, I.S. and Sung, C.S. (2008) 'Single machine scheduling with outsourcing allowed', *International Journal of Production Economics*, Vol. 111, No. 2, pp.623–634.
- [12] Dahane, M., Clementz, C. and Rezg, N. (2007) 'Analysis of maintenance and production under a subcontracting environment: analytical and experimental design approaches', *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 19, pp.5393–5416.
- [13] Dellagi, S., Rezg, N. and Xie, X. (2007) 'Preventive maintenance of manufacturing systems under environmental constraints', *International Journal of Production Research*, Vol. 45, No. 5, pp.1233–1254.
- [14] Dellagi, S. et al. (2008) 'Joint optimal inventory control and preventive maintenance policy', *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 19, pp.5349–5365.
- [15] Dahane, M., Clementz, C. and Rezg, N. (2010) 'Effects of extension of subcontracting on a production system in a joint maintenance and production context', *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 58, No. 1, pp.88–96.
- [16] Cormier, G. and Rezg, N. (2009) 'Analytical contributions to the joint optimization of maintenance, production and subcontracting', *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management IESM CANAD*.
- [17] Dellagi, S., Gharbi, A. and Rezg, N. (2010) 'Optimal maintenance/production policy for a manufacturing system subjected to random failure and calling upon several subcontractors', *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Vol. 5, No. 4, pp.261–267.
- [18] Hajej, Z. et al. (2012) 'Joint optimisation of maintenance and production policies with subcontracting and product returns', *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 25, No. 3, pp.589–602.
- [19] Ben-Daya, M. and Rahim, M. (2001) 'Integrated production, quality and maintenance models: an overview', in Rahim, M. and Ben-Daya, M. (Eds.): *Integrated Models in Production Planning, Inventory, Quality and Maintenance*, pp.3–28, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, New York.
- [20] Qi, X. and Chen, T. (1999) 'Scheduling the maintenance on single machine', *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, No. 10, pp.1071–1078.
- [21] Graves, G.H. (1999) 'Scheduling maintenance and semi-presumable jobs on single machine', *Naval Research Logistics*, Vol. 46, No. 7, pp.845–862.
- [22] Brandolese M., Franci M. and Pozzetti A., 1996. Production and maintenance integrated planning. *International Journal of Production Research*, 34(7), p. 2059-2075.
- [23] Lee, H. L., et Rosenblatt, M. J. (1989). « A Production and Maintenance Planning Model with Restoration Cost Dependent on Detection Delay ». *IIE - Transactions*, 21(4), 368.
- [24] Rishel, T.D. and Christy, D.P. (1996) 'Incorporating maintenance activities into production planning: Integration at the master schedule versus material requirement level', *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 2, pp.421–446.
- [25] Weinstein, L. and Chung, C-H. (1999) 'Integrating maintenance and production decisions in a hierarchical production planning environment', *Computers and Operations Research*, Vol. 26, Nos. 10–11, pp.1059–1074.

- [26] Ben-daya, M. and Makhdoum, M. (1998) 'Integrated production and quality model under various maintenance policies', *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 49, No. 8, pp.840–853.
- [27] Finch, B. J., et Gilbert, J. P. (1986). « Developing maintenance craft labor efficiency through an integrated planning and control system: A prescriptive model ». *Journal of Operations Management*, 6(3-4), 449-459.
- [28] Cassady, C. R., &Kutanoglu, E. (2003). Minimizing job tardiness using integrated preventive maintenance planning and production scheduling. *IEEE Transaction*, 35(6), 503–513.
- [29] Sortrakul, N., Nachtman, H.L. and Cassady, C.R. (2005) 'Genetic algorithms for integrated preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine', *Computers in Industry*, Vol. 56, No. 2, pp.161–168.
- [30] Benbouzid-Sitayeb 2005 F “ Contribution à l'étude de la performance et de la robustesse des ordonnancements conjoints Production/Maintenance - Cas du flowshop”, Université de Franche-Comté.
- [31] Ruiz 2007
- [32] Srinivasan, M.M. and Lee, H.S. (1996) 'Production inventory systems with preventive maintenance', *IIE Transactions*, Vol. 28, No. 11, pp.879–890.
- [33] Cheung, 1997. Cheung, K.L. and Hausmann, W.H. (1997) 'Joint optimization of preventive maintenance and safety stock in an unreliable production environment', *Naval Research Logistics*, Vol. 44, No. 3, pp.257–272.
- [34] Kenné, J.P. and Boukas, E. (2003) 'Hierarchical control of production and maintenance rates in manufacturing systems', *Journal of Quality In Maintenance Engineering*, Vol. 9, No. 1, pp.66–82.
- [35] Aghezzaf, E.H., Jamali, M.A. and Ait-Kadi, D. (2007) 'An integrated production and preventive maintenance planning model', *European Journal of Operational Research*, Vol. 181, No. 2, pp.679–685. Hajej, 2009.
- [36] Lee, I.S. and Sung, C.S. (2008) 'Single machine scheduling with outsourcing allowed', *International Journal of Production Economics*, Vol. 111, No. 2, pp.623–634.
- [37] Naderi, B., Zandieh, M. and Fatemi-Ghomi, S.M.T. (2009) 'A study on integrating sequencedependent setup time flexible flow lines and preventive maintenance scheduling', *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 20, No. 6, pp.683–694.
- [38] Kenné, J.-P., Gharbi, A., et Beit, M. (2007). « Age-dependent production planning and maintenance strategies in unreliable manufacturing systems with lost sale ». *European Journal of Operational Research*, 178(2), 408-420.
- [39] Hajej, Z., Dellagi, S. and Rezg, N. (2009) 'An optimal production/maintenance planning under stochastic random demand, service level, and failure rate', *IEEE Explores*, No. 1, pp.292–297.
- [40] Radhoui, M., Rezg, N. and Chelbi, A. (2010) 'Integrated maintenance and control policy based on quality control', *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 58, No. 3, pp.443–451
- [41] Wang, S. (2015) 'Integrated model of production planning and imperfect preventive maintenance policy for single machine system', *International Journal of Operational Research*, Vol. 18, No. 2, pp.140–156.
- [42] Lu, Z. et al. (2015) 'Integrated production and preventive maintenance scheduling for a single machine with failure uncertainty', *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 80, pp.236–244.
- [43] Budai, G., Dekker, R. and Nicolai, R.P. (2008) 'Maintenance and production: a review of planning models', in Murty, D. and Kobbacy, K. (Eds.): *Complex System Maintenance Handbook*, Springer Series in Reliability Engineering, pp.321–344, Springer Verlag Limited, London.



Ecole des Hautes Etudes d'Ingénierie (EHEI) - Oujda, Maroc

Rue de la liberté, Hay Al Hikma – Oujda

www.eheio.ma

Tél/Fax : 05 36 53 30 75