



HAL
open science

Contributions à la modélisation et à l'optimisation des problèmes en temps réel

Mohamed Lahby

► **To cite this version:**

Mohamed Lahby. Contributions à la modélisation et à l'optimisation des problèmes en temps réel. Réseaux et télécommunications [cs.NI]. FST Mohammedia, 2020. tel-02501798

HAL Id: tel-02501798

<https://hal.science/tel-02501798>

Submitted on 7 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

HABILITATION UNIVERSITAIRE

Spécialité : INFORMATIQUE

Présentée et soutenue par :

Mohamed LAHBY

Professeur de l'Enseignement Supérieur Assistant à l'ENS de Casablanca

Docteur en Informatique

Contributions à la modélisation et à l'optimisation des problèmes en temps réel

Soutenue le 07/03/2020 à la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, devant le jury
composé de :

Mr. Azzedine BOULMAKOUL	-	PES (FSTM)	:	Président, Rapporteur
Mr. Mohammed RAMDANI	-	PES (FSTM)	:	Rapporteur
Mr. Bouabid EL OUAHIDI	-	PES (FSR)	:	Rapporteur

Faculté des Sciences et Techniques, BP. 146 , Mohammedia 20650, Maroc
Tel : +212 (5) 23 31 47 05 / +212 (5) 23 31 47 05 08 , Fax : +212 (5) 37 77 42 61, www.fstm.ac.ma

Remerciement

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au Laboratoire Mathématiques et Applications (LMA) de l'Ecole Normale Supérieure (ENS), de l'Université Hassan II Casablanca, Maroc.

Tout d'abord, je remercie très sincèrement Monsieur Hassan El Amri, Directeur du laboratoire LMA, et Monsieur Abdelbaki Attioui responsable de mon équipe de recherche, pour leurs conseils avisés, leurs qualités pédagogiques et scientifiques et leur sympathie. Je tiens à remercier aussi tous les membres de notre laboratoire LMA.

Ce travail n'aurait pu se faire sans la collaboration et le soutien de mon collègue professeur Abderahim SEKKAKI, professeur à la faculté des sciences ain chock, je le remercie infiniment.

Je tiens également à adresser mes vifs remerciements à monsieur Azzedine Boulmakoul de faculté des sciences et techniques de mohammedia, à monsieur Mohammed Ramdani de faculté des sciences et techniques de Mohammedia et à monsieur Bouabid El ouahidi de la faculté des sciences de Rabat d'avoir acceptés d'examiner et de juger mon habilitation universitaire.

Je tiens à remercier aussi monsieur Mustapha LKHIDER le Doyen de la faculté des sciences et techniques de Mohammedia de m'avoir donné l'autorisation pour soutenir mon habilitation à la FST de Mohammedia.

Mes travaux ont fait appel au concours des étudiants doctorants, des étudiants de Masters et d'étudiants d'universités. J'ai été ravi de leurs enthousiasmes et de leurs compétences. J'espère leur avoir apporté au moins autant qu'ils m'ont apporté.

Je n'oublie bien sûr pas tous mes collègues enseignants, chercheurs et personnels administratifs de l'ENS de Casablanca et à leur tête monsieur Houssine AZEDDOUG directeur de notre école (ENSC), je leur témoigne toute ma reconnaissance.

Mes remerciements vont aussi à ma maman, mes soeurs et mes frères et leurs petites familles, pour leur soutien constant sans lesquels je ne serais jamais parvenu à ce stade de réussite.

Enfin, je ne saurais terminer ces quelques lignes sans penser à ma femme, sans qui tout ceci n'aurait pu se réaliser. Merci, pour sa force tranquille et discrète, son soutien incontournable.

Table des matières

Introduction générale	1
I PARTIE ADMINISTRATIVE	3
1 Curriculum Vitae	5
1.1 État civil	5
1.2 Coordonnées professionnelles actuelles	6
1.3 Diplômes et titres	6
1.4 Formations pédagogiques	7
1.5 Mes expériences dans l'entreprise	7
1.6 Mes expériences pédagogiques	8
1.7 Mes activités pédagogiques	8
1.8 Axes de recherche	9
1.8.1 Axe 1 : Optimisation de la QoS dans les réseaux NGN	9
1.8.2 Axe 2 : Modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes	10
1.8.3 Axe 3 : Optimisation des risques bancaires	10
1.9 Activités liées à la recherche scientifique	10
II PRESENTATION DES ACTIVITES PEDAGOGIQUES	12
2 Activités pédagogiques avant l'intégration de l'ENS de Casablanca	14
2.1 Avant propos	14
2.2 Activités pédagogiques au Lycée Abdelkrim Khettabi de Mohammedia (années : 2004 - 2009)	14
2.3 Activités pédagogiques au centre CPGE de Mohammedia (années : 2009-2014)	15
2.4 Activités pédagogiques à la FST de Mohammedia (années : 2010 - 2011)	19
3 Activités pédagogiques à l'ENS de Casablanca	20
3.1 Introduction	20
3.2 Enseignement de modules	22
3.2.1 Module : Introduction à l'informatique (Info 1)	22
3.2.2 Module : Algorithmique I (info 2)	24
3.2.3 Module : Algorithmique et programmation en C (info 3)	26
3.2.4 Module : Algorithmique et structures de données (info 4)	28
3.2.5 Module : Structures de données avancées	30
3.2.6 Module : Protocoles et réseaux	31
3.2.7 Module : La programmation orientée objet JAVA	34
3.2.8 Module : Sécurité des Réseaux	36

3.2.9	Module : Programmation orientée objet C++	39
3.2.10	Élément de Module : Modélisation et simulation avec Python	41
3.2.11	Élément de Module : Informatique appliquées aux STAPS	42
3.2.12	Supports TIC	44
3.2.13	Didactique suivie	44
3.3	Responsabilités pédagogiques et administratives	45
3.4	Encadrement des projets et des mini-projets	45
3.4.1	Encadrement des projets de Fin d'Etudes de Master	46
3.4.2	Participation au jury d'évaluation des projets de fin d'études de Master	47
3.4.3	Encadrement des projets de fin d'études de Licence LCMSI	50
3.4.4	Participation au jury d'évaluation des projets de fin d'études de Licence LCMSI	50
3.4.5	Encadrement des mini-projets	51
3.5	Animation des séminaires pédagogiques	52
3.6	Attestations pédagogiques	53
III PRÉSENTATION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE		54
4	Activités de recherche de thèse	56
4.1	Contexte et problématique	56
4.2	Développement d'une nouvelle architecture pour l'optimisation de la sélection du réseau	58
4.2.1	Mise en place d'une nouvelle architecture pour sélection du réseau	58
4.2.2	Une nouvelle approche pour la validation de la sélection du réseau basée sur G-MADM	60
4.2.3	Une nouvelle unité de la différenciation de poids pour améliorer notre architecture	60
4.2.4	Un nouveau modèle efficace pour l'évaluation de performances du handover	60
4.3	Conclusion	60
5	ACTIVITÉS POST-DOCTORALES : synthèse des activités de recherche	62
5.1	Axe de recherche 1 : Optimisation de la qualité de service dans les réseaux de la future génération	62
5.1.1	Contexte et objectifs	62
5.1.2	Méthode	63
5.1.3	Résultats	63
5.1.4	Encadrement doctoral	64
5.2	Axe de recherche 2 : Modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes	64
5.2.1	Contexte et objectifs	64
5.2.2	Méthode	65
5.2.3	Résultats	65
5.2.4	Encadrement doctoral	65
5.3	Axe de recherche 3 : Optimisation des risques bancaires	65
5.3.1	Contexte et objectifs	65
5.3.2	Méthode	66
5.3.3	Résultats	66

5.3.4	Encadrement doctoral	67
6	Axe 1 : Optimisation de la qualité de service dans les réseaux de la future génération	68
6.1	Introduction	69
6.2	État de l'art et positionnement du problème	71
6.2.1	Les algorithmes du handover basés sur la fonction d'utilité	71
6.2.2	Les algorithmes du handover basés sur l'approche MADM	72
6.2.3	Les algorithmes hybrides du handover	72
6.3	La méthode de pondération ANP	73
6.4	Théorie de l'Utilité Multi-Attributs (MAUT)	76
6.5	Notre politique proposée basée sur le protocole IEEE 802.21	77
6.5.1	Module 1 : Initiation du handover	77
6.5.2	Module 2 : Décision du pré-handover	77
6.5.3	Module 3 : Décision du handover	78
6.6	Simulations et résultats	79
6.6.1	Scénario de simulation	79
6.6.2	La simulation 1	81
6.6.3	La simulation 2	82
6.6.4	La simulation 3	82
6.6.5	La mise en oeuvre industrielle du handover vertical : Brevet N US 8,565,744	83
6.7	Conclusion	84
	Bibliographie	86
7	Axe 2 : Modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes	89
7.1	Introduction	90
7.2	La sélection du réseau basée sur la théorie des graphes : état de l'art	93
7.3	Modélisation et stratégie proposées pour le handover vertical	95
7.3.1	Structure d'un graphe k-parti	95
7.3.2	Déploiement réseau	96
7.3.3	Modélisation	97
7.3.4	Notre stratégie de la sélection du meilleur chemin	98
7.3.5	Élicitation de poids à l'aide de la méthode AHP	100
7.3.6	Complexité computationnelle de notre stratégie	100
7.4	Évaluation expérimentale	101
7.4.1	Environnement expérimentale	101
7.4.2	Les indicateurs de la qualité de service	103
7.4.3	Résultats expérimentaux	104
7.5	Conclusion	110
	Bibliographie	112

8	Axe 3 : Optimisation des risques bancaires	115
8.1	Introduction	115
8.2	État de l'art	117
8.2.1	Les algorithmes du machine learning pour l'approbation de crédit	117
8.2.2	Les algorithmes du machine learning pour la détection de fraude	118
8.3	Notre architecture de classification en temps réel	119
8.3.1	Modèle de prediction	119
8.3.2	Deep auto-encoder	120
8.3.3	Deep Neural network	121
8.4	Évaluation expérimentale	122
8.4.1	Implémentation de notre architecture	122
8.4.2	Datasets	123
8.4.3	Paramètres d'évaluation de performances	126
8.4.4	Paradigms	126
8.4.5	Résultats expérimentaux	127
8.5	Conclusion	134
	Bibliographie	135
9	Encadrement et Rayonnement	138
9.1	Équipe de recherche	138
9.2	Encadrement de thèses	138
9.3	Collaborations scientifiques	140
9.3.1	Collaborations nationales	140
9.3.2	Collaborations internationales	140
9.4	Innovation et valorisation	141
9.4.1	Organisation des manifestations scientifiques	141
9.4.2	Participation dans des conférences internationales	141
9.4.3	Président des sessions lors des conférences internationales	141
9.4.4	Activité de relecture d'articles et d'évaluation	141
10	Liste des publications de l'auteur	143
10.1	Production scientifique à l'issue des travaux de la thèse (2009-2013)	143
10.1.1	Journaux publiés	143
10.1.2	Conférences internationales	144
10.1.3	Workshops Internationals	145
10.1.4	Journées Doctorales	145
10.2	Production scientifique après la thèse (2014-2020)	145
10.2.1	Ouvrage	145
10.2.2	Chapitres	145
10.2.3	Journaux indexés	146
10.2.4	Conférences internationales	146

10.3 Rapports techniques	147
11 Conclusions et Perspectives	148
11.1 Conclusions	148
11.2 Perspectives des activités pédagogiques	149
11.3 Perspectives des activités de recherche	150
11.3.1 Nos axes de recherche à l'état actuel	150
11.3.2 Nos futurs axes de recherche	151
ANNEXES	154
<u>ANNEXE A</u> : Documents Administratifs	154
<u>ANNEXE B</u> : Justificatifs de mes activités avant d'intégrer l'ENSC	154
<u>ANNEXE C</u> : Justificatifs de mes activités à l'ENS de Casablanca	154
<u>ANNEXE D</u> : Documents justificatifs de l'encadrement et rayonnement	154
<u>ANNEXE E</u> : Articles Journaux et Communications	154

Table des figures

4.1	Notre architecture proposée et développée pour la sélection du réseau	59
6.1	Structure réseau de la méthode ANP	74
6.2	Notre politique du handover vertical en utilisant le protocole IEEE 802.21	79
6.3	Scénario de simulation	80
6.4	Variation de l'anomalie de classement des algorithmes en fonction de flux	81
6.5	Variation de nombre de handoffs des algorithmes en fonction de flux	82
6.6	Variation de handovers échoués des algorithmes en fonction de flux	83
7.1	Déploiement traditionnel du réseau d'une zone géographique hétérogène	96
7.2	Notre amélioration du déploiement du réseau d'une zone géographique hétérogène	97
7.3	Notre graphe k-parti proposé pour modéliser le handover vertical	98
7.4	Hiérarchie de la méthode AHP pour la sélection du réseau	100
7.5	Topologie considérée dans la plateforme d'émulation Mininet	101
7.6	Comparaison du débit moyen en fonction de deux algorithmes NMBDG et SMGVHO	105
7.7	Comparaison de la perte moyenne en fonction de deux algorithmes NMBDG et SMGVHO	105
7.8	Comparaison du délai moyen en fonction de deux algorithmes NMBDG et SMGVHO	106
7.9	Comparaison de la gigue moyenne en fonction de deux algorithmes NMBDG et SMGVHO	106
7.10	Taux moyen du débit en fonction des algorithmes de handover	108
7.11	Taux moyen de la perte en fonction des algorithmes de handover	109
7.12	Taux moyen du délai en fonction des algorithmes de handover	109
7.13	Taux moyen de la gigue en fonction des algorithmes de handover	110
8.1	Notre architecture du modèle de classification en temps réel	120
8.2	Auto-encoder	121
8.3	Composition de notre réseau de neurones	122
8.4	La démarche de d'implémentation de notre architecture de classification	122
8.5	Distribution du Data-set	124
8.6	Data set distribution Over-Sampled, the fraud class counts for 3,1% of all transactions	125
8.7	Illustration de matrice de confusion	126
8.8	Comparaison de l'exactitude de différents algorithmes appliqués aux données de prêts	128
8.9	Comparaison de la précision de différents algorithmes appliqués aux données de prêts	129
8.10	Comparaison du rappel de différents algorithmes appliqués aux données de prêts	129
8.11	Comparaison de F1 score de différents algorithmes appliqués données de prêts	130
8.12	Comparaison de l'exactitude de différents algorithmes appliqués aux données de fraudes	131
8.13	Comparaison de la précision de différents algorithmes appliqués aux données de fraudes	132
8.14	Comparaison du rappel de différents algorithmes appliqués aux données de fraudes	133
8.15	Comparaison de F1 score de différents algorithmes appliqués aux données de fraudes	133

Liste des tableaux

3.1	Volume horaire du module Informatique 1 : Introduction à l'informatique	23
3.2	Volume horaire du Module Informatique 2 : Algorithmique I	25
3.3	Volume horaire du module Informatique 3 : Algorithmique et programmation en C	27
3.4	Volume horaire du module Informatique 4 : Structures de données en langage C	29
3.5	Volume horaire du module Structures de données avancées	30
3.6	Volume horaire du module Protocoles et réseaux	32
3.7	Volume horaire du module La programmation orientée objet JAVA	34
3.8	Volume horaire du module Sécurité des Réseaux	37
3.9	Volume horaire du module La programmation orientée objet C++	39
3.10	Volume horaire de l'élément du module Programmation python	41
3.11	Volume horaire de l'élément du module Informatique	43
6.1	Echelle à 9 valeurs de Saaty	74
6.2	Valeur de l'indice aléatoire IA	75
6.3	Performances des attributs pour les réseaux candidats	80
6.4	Pondération des attributs en utilisant la méthode ANP	80
7.1	Les paramètres utilisés dans la plateforme d'émulation Mininet	102
7.2	Quantification des termes flous	102
7.3	Valeurs des attributs statiques	102
7.4	Poids accordé à chaque critère pour le flux FTP	103
7.5	Poids accordé à chaque critère pour le flux streaming	103
8.1	Data-set features	123
8.2	attributs du Data-set	123
8.3	Distribution des instances	124
8.4	Caractéristique du Data-set	125
8.5	Attribues du dataset	125
8.6	Matrice de confusion pour les données de l'approbation de crédit	127
8.7	Deep learning with auto-encoder 8-fold cross validation)	130
8.8	Matrice de confusion pour les données de fraudes	131

Glossaire

2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
ABC	Always Best Connected
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANN	Artificial Neural Network
ANP	Analytic Network Process
AP	Access Point
BS	Base Station
BTS	Base Station Transceiver System
DIA	Distance to Ideal Alternative
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité
E-TOPSIS	Enhanced Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
FADM	Fuzzy AHP Distance Mahalanobis
FAHP	Fuzzy Analytic Hierarchy Process
FANP	Fuzzy Analytic Network Process
FIS	Fuzzy Inference System
FL	Fuzzy Logic
FMADM	Fuzzy Multiple Attributes Decision Making
GA	Genetic Algorithm
GPRS	General Packet Radio Service
GRA	Grey Relational Analysis
GSM	Global System for Mobile
HI	Handoff Initiation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet protocol
LTE	Long Term Evolution
MADM	Multiple Attributes Decision Making
MAUT	Multi Attribut Utility Theory
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
MEW	Multiplicative Exponent Weighting
MIP	Mobile IP
MT	Mobile Terminal
NGN	Next Generation Networks
NMBDG	New Model Based On Dynamic k-partite Graph

NMMD	Novel Method Based Mahalanobis Distance
QoS	Quality of Service
QoE	Quality of Experience
RSS	Received Signal Strength
SAW	Simple Additive Weighting
SMGVHO	Static Modeling Graph for Vertical Handover
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VoIP	Voice over IP
WIFI	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Introduction générale

Ce rapport, présenté en vue de l'obtention d'une Habilitation à Diriger des Recherches, décrit nos activités pédagogiques, nos responsabilités administratives ainsi que nos travaux de recherche. Les activités pédagogiques et administratives en tant que professeur de l'enseignement supérieur assistant s'effectuent actuellement au sein de l'Ecole Normale Supérieure (ENS), à l'université Hassan II de Casablanca, depuis Mars 2014, quant à nos travaux de recherche au sein du laboratoire LMA de l'ENS, ils portent principalement sur la modélisation et l'optimisation des problèmes en temps réel. Dans ce cadre, les travaux que nous avons menés jusqu'à maintenant, s'articulent autour de trois grands axes : optimisation de la qualité de service, modélisation de la gestion de mobilité et optimisation des risques dans le système bancaire à l'aide de l'apprentissage automatique. Ces axes rentrent dans le titre de ce travail : contributions à la modélisation et à l'optimisation des problèmes en temps réel.

Afin de faciliter la lecture de ce document et mettre en valeur l'ensemble de nos compétences en termes d'enseignement et de recherche scientifique, nous avons organisé ce manuscrit en trois parties essentielles. Chaque partie contient un ensemble de chapitres bien détaillés.

La première partie est consacrée au volet administratif. Elle contient un seul chapitre (chapitre 1) dans lequel nous avons mis l'accent sur notre Curriculum Vita (CV). Le fait de présenter en premier temps le CV, servira d'une part comme un résumé de ce document, d'autre part, comme un point de repère pour évaluer les grandes étapes de notre parcours académique et professionnel.

La seconde partie est consacrée à la présentation des expériences pédagogiques acquises au cours de nos activités d'enseignement depuis l'année 2004. Cette partie contient deux chapitres, le chapitre 3 décrit les activités d'enseignement et d'encadrement avant la date d'intégration à l'ENS en 2014. Nous notons que de 2004 à 2009, nous avons été un enseignant d'informatique du second cycle au lycée qualifiant Abdelkarim Khettabi de Mohammedia. En parallèle de nos activités d'enseignements au lycée qualifiant Abdelkarim Khettabi, nous avons pu mener une activité de recherche à la Faculté des Sciences de Rabat (FSR). Cette activité a démarré par la préparation du Diplôme des Études Supérieures Approfondies (DESA) de 2006 à 2009. En revanche, de 2009 à 2014, nous avons intégré le Centre des Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles (CPGE) de Mohammedia pour assurer le programme d'informatique. En parallèle de nos enseignements au CPGE de mohammedia, nous avons été inscrit dans un sujet de thèse entre 2009 et 2013 à la FST de Mohammedia. Le chapitre 3 retrace par ailleurs, les activités pédagogiques depuis mon intégration à l'ENS de Casablanca, le 27 mars 2014.

La troisième partie est consacrée aux activités de recherche scientifique. Cette partie fait l'objet de six chapitres. Le chapitre 4 retrace l'essentiel de mes travaux au cours de la thèse. Une synthèse de nos travaux post thèse est présentée dans le chapitre 5. Nous abordons nos trois axes de recherche d'une façon détaillée respectivement dans le chapitres 6, 7 et 8. Dans le chapitre 9 nous présentons nos activités d'encadrement et essentiellement nos activités de rayonnement. Une liste de nos publications dans des revues internationales et dans des conférences prestigieuses est illustrée dans le chapitre 10. Dans le chapitre 11, nous rappellerons les

principales contributions réalisées, puis, nous présenterons les différentes perspectives concernant chaque axe de recherche. Nous terminons ce chapitre par la présentation de nos futurs projets pédagogiques ainsi que nos futurs axes de recherche.

Enfin ce rapport se termine par des annexes qui regroupent un ensemble des éléments justificatifs de toutes mes activités aussi bien pédagogiques que scientifiques.

Tout au long du texte, le lecteur trouvera également une mise en évidence des différentes expériences qui nous ont amené à présenter l'habilitation universitaire.

Première partie

PARTIE ADMINISTRATIVE

Curriculum Vitae

Sommaire

1.1	État civil	5
1.2	Coordonnées professionnelles actuelles	6
1.3	Diplômes et titres	6
1.4	Formations pédagogiques	7
1.5	Mes expériences dans l'entreprise	7
1.6	Mes expériences pédagogiques	8
1.7	Mes activités pédagogiques	8
1.8	Axes de recherche	9
1.8.1	Axe 1 : Optimisation de la QoS dans les réseaux NGN	9
1.8.2	Axe 2 : Modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes	10
1.8.3	Axe 3 : Optimisation des risques bancaires	10
1.9	Activités liées à la recherche scientifique	10

1.1 État civil

- **Nom** : LAHBY ;
- **Prénom** : Mohamed ;
- **Date de naissance** : 02 Août 1978 ;
- **Lieu de naissance** : Benslimane ;
- **Situation familiale** : Marié ;
- **Statut actuel** : Professeur de l'Enseignement Supérieur Assistant ;
- **Université** : Université Hassan II de Casablanca ;
- **Établissement** : École Normale Supérieure (ENS Casablanca)

- **Département** : Mathématiques et informatique
- **Laboratoire** : Laboratoire de Mathématiques et Applications (LMA)

1.2 Coordonnées professionnelles actuelles

- **Adresse** : 160, AP2 1E LES ROSES 2, BOUZNIKA.
- **Téléphone** : 0665292376.
- **E-mail** : mlahby@gmail.com
- **Scopus** : <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37041689600>
- **Google scholar** : <http://scholar.google.fr/citations?user=XgAokNoAAAAJ&hl=fr>
- **Researchgate** : https://www.researchgate.net/profile/Mohamed_Lahby

1.3 Diplômes et titres

2013	<p>Doctorat en Informatique - Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, Université Hassan II, Casablanca.</p> <p>Sujet : <i>Optimisation et évaluation des performances des communications mobiles dans un environnement Réseaux multi-accès</i></p> <p>Thèse soutenue : à Mohammedia le 30 Novembre 2013.</p> <p>Mention : Très Honorable avec les félicitations du jury.</p> <p>Jury de soutenance :</p> <table><tr><td>M. RAMDANI</td><td>PES FST Mohammedia</td><td>Président</td></tr><tr><td>A. BEKKHOUCHA</td><td>PES FST Mohammedia</td><td>Rapporteur</td></tr><tr><td>M. BELLAFKIH</td><td>PES INPT Rabat</td><td>Rapporteur</td></tr><tr><td>M. EL KOUTBI</td><td>PES ENSIAS Rabat</td><td>Rapporteur</td></tr><tr><td>M. ESSAAIDI</td><td>PES Directeur ENSIAS Rabat</td><td>Examineur</td></tr><tr><td>A. ADIB</td><td>PES FST Mohammedia</td><td>Directeur de thèse</td></tr><tr><td>C. LEGHRIS</td><td>PH FST Mohammedia</td><td>Co-Encadrant de thèse</td></tr></table>	M. RAMDANI	PES FST Mohammedia	Président	A. BEKKHOUCHA	PES FST Mohammedia	Rapporteur	M. BELLAFKIH	PES INPT Rabat	Rapporteur	M. EL KOUTBI	PES ENSIAS Rabat	Rapporteur	M. ESSAAIDI	PES Directeur ENSIAS Rabat	Examineur	A. ADIB	PES FST Mohammedia	Directeur de thèse	C. LEGHRIS	PH FST Mohammedia	Co-Encadrant de thèse
M. RAMDANI	PES FST Mohammedia	Président																				
A. BEKKHOUCHA	PES FST Mohammedia	Rapporteur																				
M. BELLAFKIH	PES INPT Rabat	Rapporteur																				
M. EL KOUTBI	PES ENSIAS Rabat	Rapporteur																				
M. ESSAAIDI	PES Directeur ENSIAS Rabat	Examineur																				
A. ADIB	PES FST Mohammedia	Directeur de thèse																				
C. LEGHRIS	PH FST Mohammedia	Co-Encadrant de thèse																				
2009	<p>Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies (DESA) en Informatique, Télécommunications et Multimédia, obtenu à la Faculté des Sciences de Rabat (FSR), Université Mohamed 5.</p> <p>Sujet de PFE : <i>Evaluation des Performances du Routage Multi Chemins Dans MPLS</i></p> <p>Mention : Bien.</p> <p>Durée : 5 mois.</p>																					

1.5. MES EXPÉRIENCES DANS L'ENTREPRISE

- 2004 | **Diplôme d'Aptitude Pédagogique pour l'Enseignement Secondaire Qualifiant** - Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique (ENSET) de Mohammedia.
Spécialité : Informatique.
- 2001 | **Licence Appliquée en Informatique (LAI)**- de la Faculté des Sciences Ain-Chock - Université Hassan II - Casablanca.
Spécialité : Informatique.
Mention : Passable.
- 1999 | **DEUG** de la faculté des sciences Ain-Chock, Université Hassan II Casablanca.
Option : Mathématiques & Physiques
Mention : Passable.
- 1997 | **Baccalauréat** Sciences Mathématiques "B" au lycée Hassan II à Benslimane.
Mention : Assez Bien.

1.4 Formations pédagogiques

- 2014 | Formation sur la pédagogie universitaire et la formation des adultes, organisée par l'université Hassan II à la faculté de médecine dentaire de Casablanca.
- 2013 | Formation en Python, organisée par le CNIPE (centre national de l'innovation pédagogique et d'expérimentation) et l'institut national des postes et télécommunications INPT à Rabat.
- 2010 | Formation sur la didactique de l'informatique pour les CPGE (Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles) organisée par CNIPE à Marrakech.
- 2009 | Formation sur la méthodologie d'enseignement de l'informatique et de la préparation des étudiants des classes préparatoires aux concours nationaux et internationaux, organisée par le CNIPE à Rabat.

1.5 Mes expériences dans l'entreprise

- Septembre 2001 à janvier 2002** | **Analyste programmeur** au sein de la société SIGMATEL, Casablanca.
- Février 2002 à septembre 2002** | **Développeur web** au sein de la société SIGMATEL, Casablanca.

Décembre 2002 à | **Analyste programmeur** au sein de la société ARM CONSULTANT,
septembre 2003 | Casablanca.

1.6 Mes expériences pédagogiques

Depuis 2014	Professeur de l'Enseignement Supérieur Assistant à l'école normale supérieure (ENS), Université Hassan II, Casablanca.
2009-2014	Enseignant d'informatique en classes préparatoires au lycée technique de Mohammedia.
2010-2011	Enseignant vacataire d'informatique à la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia.
2005-2008	Enseignant vacataire d'informatique à l'Institut Spécialisé de Technologie Appliquée (ISTA) de Benslimane.
2004-2009	Enseignant d'informatique au sein de lycée Abdel karim khettabi de Mohammedia.

1.7 Mes activités pédagogiques

En 2004, j'ai eu le diplôme de l'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique (ENSET) de Mohammedia. A partir de cette année, j'ai eu la charge d'enseigner plusieurs modules en informatique dans les établissements où j'ai été affecté. Mes enseignements portent sur divers aspects très variés en informatique tels que : Bureautique, Algorithmique et Programmation, Réseaux, Bases de données, etc. Les différents modules que j'ai assuré jusqu'à aujourd'hui sont listés ci-dessous :

Logiciels de bureautique :

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Microsoft Power Point

Algorithmique et techniques de la programmation :

- Méthodologie de conception d'un bon algorithme
- Langages de programmation : Pascal, C, C++, Java et Python... ;
- Complexité ;

Technologie web :

- Développement web : HTML, CSS, JavaScript
- Langage PHP
- Technologie multimedia : Photoshop, Flash,
- Référencement web

Gestion de bases de données

- Modélisation
- Algèbre relationnelle
- Langage SQL
- Bases de données : Microsoft access, MySQL, Sqlite, Oracle, etc.

Administration système

- Système d'exploitation ;
- L'environnement linux ;
- Configuration et optimisation ;
- Gestion des comptes et des utilisateurs ;
- Gestion des disques ;
- Programmation Shell ;
- Sécurité du système.

Réseaux :

- Introduction aux réseaux informatique
- Modèle de référence OSI
- Supports de transmission de données ;
- Protocoles
- Sécurité

► *Pour plus de détails, voir la partie II.*

1.8 Axes de recherche

Dans cette section, je présente brièvement les principales thématiques de recherche dans lesquelles j'ai contribué depuis ma thèse de doctorat jusqu'à aujourd'hui. Ces thématiques de recherche s'articulent autour de trois grands axes qui sont : l'optimisation de la qualité de service (QoS) dans les réseaux de nouvelle génération (NGN), la modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes et l'optimisation des risques dans le système bancaire. Pour plus de détails sur mon parcours de recherche concernant chaque axe, veuillez consulter les chapitres 6, 7 et 8.

1.8.1 Axe 1 : Optimisation de la QoS dans les réseaux NGN

Dans les dernières années, les réseaux de la nouvelle génération (NGN, Next Generation Networks) ont fait leur apparition pour permettre aux utilisateurs de rester connectés à l'Internet n'importe où et n'importe quand en utilisant le processus du handover vertical. De plus, avec la convergence des réseaux NGN, les utilisateurs ont la possibilité de bénéficier de plusieurs types d'applications qui exigent une qualité de service optimale. Dans ce contexte, les applications audio et vidéo font parties des applications les plus exigeantes en termes de QoS, durant le processus du handover vertical.

Les travaux de cet axe de recherche traitent l'optimisation de la qualité de service dans les réseaux NGN durant le processus du handover.

1.8.2 Axe 2 : Modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes

Les réseaux sans fil (Wireless Networks) représentent une solution émergente permettant à leurs utilisateurs un accès à l'information et aux services, indépendamment de leurs positions géographiques. Le succès de ce type de réseaux, ces dernières années, a suscité un grand intérêt de la part des particuliers, des entreprises et du milieu industriel. Cette évolution incessante des technologies d'accès (3G, 4G et 5G) et leur complémentarité en termes des ressources fournies, tels que la couverture, le débit et le coût, amènent les opérateurs à proposer des solutions d'interconnexion entre les différents réseaux et de développer des terminaux mobiles équipés de plusieurs interfaces radio, tels que les smartphones ou iPad. Cette interconnexion favorise la mobilité à l'utilisateur entre ces différentes technologies. Mon deuxième axe de recherche s'articule autour de la modélisation de la gestion de mobilité des utilisateurs dans les réseaux sans fil hétérogènes.

1.8.3 Axe 3 : Optimisation des risques bancaires

Cet axe s'oriente autour de l'optimisation des risques bancaires en utilisant les algorithmes de l'apprentissage automatique (Machine learning). Les secteurs bancaires et assuranciers sont particulièrement intéressés par l'application du Machine Learning afin de :

- Prédire qu'un client va quitter sa banque ;
- Prédire l'approbation d'un crédit pour un client ;
- Définir ceux qui veulent changer leur assurance vie ou mieux en contrôler les bénéficiaires ;
- Réduire le délai d'acceptation des assureurs ;
- Définir la probabilité d'un contentieux avec un nouveau client avant même qu'il intègre sa banque ;
- Prédire le risque de liquidité dans une banque ;
- Détecter des fraudes (comme le fait Paypal afin de réduire les escroqueries innombrables qui ont ciblé les utilisateurs du site) ;
- Améliorer la satisfaction client en proposant les offres les plus pertinentes possibles ;
- etc.

Pour cela, nous sommes amenés à développer une nouvelle architecture qui utilise les algorithmes du Machine learning plus précisément les techniques du Deep learning afin de minimiser les risques qui menacent spécialement le secteur bancaire.

1.9 Activités liées à la recherche scientifique

En relation, avec mes trois axes de recherche cités ci-dessus, mes activités liées à la recherche se focalisent principalement sur trois volets. D'abord, la présentation des communications orales dans les conférences nationales et internationales. Puis, l'encadrement des sujets de master et le co-encadrement des sujets de thèse. Quant au troisième volet, il s'agit de la participation dans l'organisation des conférences nationales et internationales. La majorité de mes activités scientifiques effectuées dans chaque volet sont financées par l'université Hassan II dans le cadre des soutiens à la Recherche scientifique. De plus, chaque volet a conduit à d'autres activités secondaires qui m'ont permis d'enrichir mon parcours professionnel.

L'ensemble de mes activités de recherche principales et secondaires peuvent être réparties comme suit :

- Publication d'articles dans des revues indexées et dans des conférences internationales (classe B) ;

1.9. ACTIVITÉS LIÉES À LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

- Présentation de mes travaux aux conférences internationales ;
- Encadrement des étudiants de cycle : licence, master et doctorat ;
- Referee dans des revues internationales indexées ;
- Participation à l'organisation des manifestations scientifiques nationales et internationales ;
- Participation à la constitution des équipes de recherche à l'ENS de Casablanca.

► *Pour plus de détails, voir la partie III*

Documents utiles

- Une copie de l'arrêté de nomination.
- Une attestation de travail.
- Une autorisation à soutenir l'habilitation à diriger les recherches, délivrée par l'établissement d'origine (ENS de Casablanca, Université Hassan II de Casablanca).
- Une copie des diplômes obtenus.

*Des éléments justificatifs concernant ce chapitre peuvent être consultés en **ANNEXE A 11.3.2.2***

Deuxième partie

**PRESENTATION DES ACTIVITES
PEDAGOGIQUES**

Activités pédagogiques avant l'intégration de l'ENS de Casablanca

Sommaire

2.1	Avant propos	14
2.2	Activités pédagogiques au Lycée Abdelkrim Khettabi de Mohammedia (années : 2004 - 2009)	14
2.3	Activités pédagogiques au centre CPGE de Mohammedia (années : 2009-2014)	15
2.4	Activités pédagogiques à la FST de Mohammedia (années : 2010 - 2011)	19

2.1 Avant propos

Depuis l'année 2004, date à laquelle j'ai eu le diplôme de l'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique (ENSET) de Mohammedia, j'ai eu la charge d'enseigner plusieurs matières dans les différents établissements. Certaines matières font partie de ma formation académique, d'autres, ressortent d'un effort personnel. Mes activités d'enseignement sont réparties entre les trois établissements publics suivants :

- Lycée qualifiant Abdelkrim Khettabi de Mohammedia ;
- Centre des classes préparatoires aux Grandes Ecoles (CPGE) de Mohammedia ;
- La FST de Mohammedia en tant que vacataire.

Dans ce qui suit, je vais présenter en détail l'ensemble des cours que j'ai assurés dans ces établissements publics.

2.2 Activités pédagogiques au Lycée Abdelkrim Khettabi de Mohammedia (années : 2004 - 2009)

Ma fonction en tant qu'enseignant a commencé le 07 septembre 2004. En effet, j'ai été désigné en tant que **professeur du second cycle** par le ministère de l'Education Nationale. Mon premier lycée d'affectation était le lycée qualifiant Abdelkrim Khettabi de Mohammedia. Voici un résumé de mes activités pédagogiques pendant les cinq années (de 2004 à 2009) que j'ai passé dans ce lycée :

Filière Tronc commun scientifique (TCS) :

- Architecture des ordinateurs : composants matériels et logiciels
- Système d'exploitation Windows XP/7

2.3. ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES AU CENTRE CPGE DE MOHAMMEDIA (ANNÉES : 2009-2014)

- Initiation en algorithmique et la programmation en langage Pascal
- Notions : Réseaux et Internet

Filière 1ère Année Bac :

- Notions de base sur la création d'un site web
- Initiation sur Photoshop
- langage HTML
- Initiation sur Microsoft Access

Par ailleurs, durant la période 2006-2009, et en parallèle à mes activités pédagogiques au lycée Abdelkrim Khettabi, j'ai préparé mon Diplôme des études supérieures approfondies à la faculté des sciences de rabat. J'ai intégré par la suite le Laboratoire d'informatique de la FST Mohammedia (LIM), pour préparer mon doctorat national durant la période 2009-2013.

2.3 Activités pédagogiques au centre CPGE de Mohammedia (années : 2009-2014)

Immédiatement après avoir eu mon diplôme des études supérieures approfondies en informatique en 2009, j'ai eu la chance d'accrocher le concours pour devenir enseignant en informatique aux CPGE. J'ai été affecté au centre CPGE de Mohammedia en Septembre 2009 pour assurer le programme d'informatique, pour les deux niveaux (SUP et SPE). Dans ce cadre, je tiens à signaler que l'enseignement de l'informatique en CPGE était omniprésent depuis la date du lancement des CPGE au Maroc en 1985. Mais la matière était officieuse, puisque les élèves ne subissaient pas d'épreuves d'évaluation au concours national commun (CNC). Mais, à partir de Septembre 2009, l'informatique a été introduite dans les CPGE marocaines comme une matière officielle. Durant mes cinq années d'enseignement en CPGE, j'avais l'occasion d'assurer deux programmes d'informatique différents.

Entre 2009 et 2012, le programme d'informatique aux CPGE, dans les deux années, est découpé en deux parties. La première partie est l'algorithmique et programmation en langage C, tandis que la deuxième partie est l'utilisation d'un logiciel de calcul symbolique et formel (MAPLE). L'ensemble des chapitres de chaque partie est donné ci-dessous :

Le programme de la classe de première année :

A. Algorithmique et programmation

- 1. Les éléments de base d'un algorithme** : Les notions de Données, de Variables et de Constantes. Les types simples, l'affectation, les entrées / sorties standards et leurs fonctions prédéfinies
- 2. La sélection** : La sélection simple et réduite, la sélection imbriquée, le choix multiple, les expressions logiques.
- 3. L'itération** : la boucle déterministe, la boucle indéterministe, les boucles imbriquées.
- 4. La démarche d'analyse descendante** : le principe de la démarche, exemples.
- 5. Les tableaux** : les tableaux à une dimension (Définition, Déclaration, accès aux éléments, ...), les tableaux à deux dimensions, des applications (Tri, recherche, ...).

- 6. Les chaînes de caractères** : Définition et initialisations d'une chaîne de caractères, Caractéristiques des chaînes de caractères,
- 7. Les pointeurs** : Définition, Déclaration, initialisation, opérations sur les pointeurs, tableaux et pointeurs. les fonctions prédéfinies sur les chaînes de caractères (longueur, comparaison, ...)
- 8. La programmation modulaire** : Définition et paramètres d'une Fonction, Utilisation des variables locales et des variables globales, Passage des paramètres par valeur et par référence, des exemples.
- 9. La récursivité simple** : Principe de la récursivité simple, exemples d'utilisation de la récursivité simple, occupation de la mémoire (Pile), terminaison d'une fonction récursive.

B. Calcul formel

- 1. Les manipulations élémentaires** : type d'une variable, affectation, évaluation d'une variable, réinitialisation d'une variable, formation d'expressions et simplifications possibles.
- 2. Les calculs usuels de type arithmétique ou flottant** : Calculs exacts dans \mathbb{N} , \mathbb{Z} , \mathbb{Q} et sur les expressions, Calculs approchés dans \mathbb{R} , calcul exact et approché des solutions d'une équation, calcul arithmétique : pgcd, ppcm, division euclidienne, nombres premiers,
- 3. Le calcul polynomial** : manipulation des sommes et des produits, calcul arithmétique sur les polynômes, développement et factorisation des polynômes, décomposition en éléments simples des fractions rationnelles,
- 4. Les différentes structures** : liste, séquence, ensemble, et Tableau, manipulation et conversion de ces structures
- 5. Les opérations sur des fonctions** : définitions de fonctions, dérivation et intégration formelles de fonctions.
- 6. Les limites et développements asymptotiques** : limite d'une expression, suites récurrentes, développements limités et asymptotiques.
- 7. Les commandes graphiques 2D** : représentation en 2D de courbes en coordonnées cartésiennes, polaires et paramétriques, tracés et manipulation d'objets géométriques tels que les lignes, les triangles, les cercles.

Le programme de la classe de deuxième année :

A. Structures de données et programmation avancée

- 1. Définition et rôle des structures de données en programmation**
- 2. Les enregistrements** : définition et manipulation d'enregistrement, exemples d'application.
- 3. L'allocation dynamique de la mémoire** : allocation et libération de mémoire, exemples (Utilisation d'un tableau dynamique, ...)
- 4. Les listes chaînées** : déclaration d'une liste chaînée, création d'une liste chaînée, manipulation de listes : insertion, suppression, recherche, tri, ..., étude des cas particuliers : Pile et File.
- 5. Les Fichiers de données** : définition et déclaration d'un fichier de données, ouverture et fermeture d'un fichier (mode d'ouverture, type de fichier (texte, binaire)), lecture et écriture séquentielles dans un fichier texte, exemples d'application (Enregistrement de données et de résultats d'un programme dans un fichier, lecture et traitement d'informations à partir d'un fichier, ...)

B. Calcul formel

1. **Expressions algébriques (Complément)** : notion d'opérande et classement des objets par type, représentation arborescente d'une expression, opérations sur les opérandes.
2. **Programmation** : définition d'une procédure, variables globales et variables locales, entrées et sorties dans une procédure, structures conditionnelles et itératives.
3. **L'algèbre linéaire** : représentation d'une matrice et d'un vecteur, opérations courantes sur les matrices (Somme, produit, inverse, rang, déterminant...), résolution formelle ou numérique d'équations ou de systèmes d'équations linéaires, opérations sur les vecteurs (produit scalaire, produit vectoriel...), diagonalisation et triangulation.
4. **Les équations différentielles** : résolution d'équations différentielles linéaires du premier et du deuxième ordre.
5. **Commandes graphiques 3D** : représentation en 3D de courbes et de surfaces en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.

A partir de l'année 2013, la programmation en langage C et le calcul formel en Maple ont été abandonnés et remplacés par la programmation en Python. Le nouveau programme de l'informatique des deux années des CPGE scientifiques, est organisé en 5 parties, comme suit :

Le programme de la classe de première année :

Partie I : Généralités et algorithmique de base

1. **Architecture simplifiée d'un ordinateur** : composants de base, mémoire centrale et représentation des données, représentation de données dans la mémoire (binaire, octal, hexadécimal...), processeur, périphériques ;
2. **Système d'exploitation d'un ordinateur** : définition et exemples de systèmes d'exploitation, fonctions principales d'un système d'exploitation, exemples d'utilisation de quelques commandes usuelles, mise en oeuvre d'un environnement de développement ;
3. **Algorithmique de base** : définitions, variables, types simples (entier, flottant, caractère), affectation, entrées / sorties standards et fonctions de la bibliothèque, opérateurs et les expressions ;
4. **La structure conditionnelle** : définition, la primitive si-alors, la primitive si-alors-sinon, test imbriqué ;
5. **La structure itérative** : la boucle déterministe pour, la boucle indéterministe tant que, les boucles imbriquées.
6. **Modélisation et vérification du code** : analyser une situation, spécifier et modéliser, invariants de boucle, tests des segments itératifs.

Partie II : Algorithmique et programmation

1. **Programmation modulaire** : définition et paramètres de fonction, variable locale et variable globale, modules ;
2. **Listes** : concepts fondamentaux sur les listes, accès aux composantes d'une liste, les tranches (slicing), fonctions et méthodes sur les listes ;

CHAPITRE 2. ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES AVANT L'INTÉGRATION DE L'ENS DE CASABLANCA

- 3. Tableaux à une seule dimension** : structure tableau, Implémentation de la structure tableau (liste, array, numpy), tris et recherche dichotomique dans un tableau (tri par sélection, tri par insertion, tri à bulles, ...);
- 4. Tableaux à deux dimensions (matrices)** : implémentation d'une matrice (liste, numpy), accès aux composantes, parcours, Les fonctions prédéfinies du numpy ;
- 5. chaînes de caractères (str)** : définition, opérations d'entrée/sortie, opérateurs : +, * et in , accès aux composantes, tranches (slicing),fonctions prédéfinies sur les chaînes ;
- 6. Fichiers de données** : accès à un fichier (chemin et nom physique de fichier), lecture des éléments d'un fichier à partir d'un programme, écriture dans un fichier à partir d'un programme ;
- 7. Structure de données tuples** : définition, manipulation d'un tuple, les tranches, les opérateurs sur les tuples, méthodes pour les tuples ;
- 8. Structure de données dictionnaires** : définition, manipulation d'un dictionnaire, méthodes pour les dictionnaires ;
- 9. Initiation à la programmation orientée objet** : introduction, notion de classe ,attributs et constructeur, méthodes de classe, héritage et la surcharge de méthode ;
- 10. Structure de données Pile et File** : structure pile, les applications d'une pile, implémentation d'une pile avec une liste, les primitives d'une pile, structure file, les applications d'une file, implémentation d'une file avec une liste, les primitives d'une file,

Partie III : Ingénierie numérique et simulation

- 1. Présentation des bibliothèques** : programmation de quelques fonctions, calcul manipulant les tableaux et calcul matriciel, gestion de la documentation en ligne des fonctionnalités de ces bibliothèques ;
- 2. Méthodes linéaires à une dimension** : résolution d'équation algébrique, méthode de dichotomie, méthode de Newton ;
- 3. Calculs approchés d'intégrales** : méthode des rectangles, méthode des trapèzes, méthode de simpson ;
- 4. Problèmes dynamiques à une dimension** : résolution approchée d'une équation différentielle, méthode d'Euler ;
- 5. Résolution des systèmes linéaires** : la méthode de Gauss, calcul du déterminant, calcul de l'inverse.

Programme de la deuxième année (MP,TSI)

Partie IV : Introduction aux bases de données

- 1. Généralités** : notion de base de données, modèle de base de données (hiérarchique, relationnel), système de gestion de base de données (SGBD), machine serveur et client ;
- 2. Modèle relationnel** : présentation, concepts élémentaires, notions de base (table, relation ,attribut, clés, domaine), schéma de relation ;

2.4. ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES À LA FST DE MOHAMMEDIA (ANNÉES : 2010 - 2011)

- 3. Algèbre relationnelle** : introduction, opérateurs unaires (sélection, projection), opérateurs binaires ensemblistes (union, intersection, différence), opérateurs n-aires (Produit cartésien, jointure, division cartésienne), fonctions d'agrégation (min, max, somme, moyenne) ;
- 4. Langage SQL** : présentation et notion de requête, description de données (création, modification suppression de tables, d'attributs, de vues, ...), manipulation de données (Insertion, modification suppression de n-uplets), interrogation d'une base de données (commande SELECT).

Partie V : Algorithmique et programmation 2

- 1. Récursivité** : principe de la récursivité simple, exemples d'utilisation de la récursivité simple, occupation de la mémoire (Pile) et problème de saturation ; terminaison d'une fonction récursive, récursivité et itération (comparaison) ;
- 2. Initiation à la complexité algorithmique** : notion de complexité algorithmique (Complexité en temps et en espace), algorithmes de complexité (Algorithme constant, logarithmique, linéaire) ;
- 3. Algorithmes de tri** : rappels des algorithmes de tri standard (sélection, insertion, bulles), algorithmes de tri rapides (tri rapide, tri fusion), comparaison de la complexité temporelle entre les différents algorithmes de tri ;
- 4. Initiation aux algorithmes des arbres binaires** : définition d'un arbre binaire (notion de noeud, racine, feuille) ; parcours d'un arbre binaire, exemple du tri Maximier (tri en utilisant un arbre binaire) ;
- 5. Introduction à la théorie des graphes** : un bref historique de la théorie des graphes, définitions et notations matrice d'adjacence d'un graphe, les algorithmes de parcours d'un graphe, algorithme de Dijkstra.

Pour concrétiser le savoir et le savoir-faire chez les élèves des CPGE, on organise un module sous forme de recherches appelé Travaux d'Initiatives Personnels Encadrés (TIPE) qui portent sur des sujets variées en relation avec l'option. J'ai été désigné pendant cette année pour enseigner ce module et encadrer les élèves.

2.4 Activités pédagogiques à la FST de Mohammedia (années : 2010 - 2011)

2010/2011 à la FST de Mohammedia : J'ai assuré le TD et le TP du langage C, pour la 1ère année et la 2ème année Mathématiques Informatique Physique (MIP-1 et MIP-2).

Des éléments justificatifs concernant ce chapitre peuvent être consultés en [ANNEXE B](#) 11.3.2.2

Activités pédagogiques à l'ENS de Casablanca

Sommaire

3.1	Introduction	20
3.2	Enseignement de modules	22
3.2.1	Module : Introduction à l'informatique (Info 1)	22
3.2.2	Module : Algorithmique I (info 2)	24
3.2.3	Module : Algorithmique et programmation en C (info 3)	26
3.2.4	Module : Algorithmique et structures de données (info 4)	28
3.2.5	Module : Structures de données avancées	30
3.2.6	Module : Protocoles et réseaux	31
3.2.7	Module : La programmation orientée objet JAVA	34
3.2.8	Module : Sécurité des Réseaux	36
3.2.9	Module : Programmation orientée objet C++	39
3.2.10	Élément de Module : Modélisation et simulation avec Python	41
3.2.11	Élément de Module : Informatique appliquées aux STAPS	42
3.2.12	Supports TIC	44
3.2.13	Didactique suivie	44
3.3	Responsabilités pédagogiques et administratives	45
3.4	Encadrement des projets et des mini-projets	45
3.4.1	Encadrement des projets de Fin d'Etudes de Master	46
3.4.2	Participation au jury d'évaluation des projets de fin d'études de Master	47
3.4.3	Encadrement des projets de fin d'études de Licence LCMSI	50
3.4.4	Participation au jury d'évaluation des projets de fin d'études de Licence LCMSI	50
3.4.5	Encadrement des mini-projets	51
3.5	Animation des séminaires pédagogiques	52
3.6	Attestations pédagogiques	53

3.1 Introduction

J'ai intégré officiellement l'école normale supérieure (ENS) de Casablanca le 27 Mars 2014, après avoir passé avec succès le concours de recrutement d'un professeur assistant dans la spécialité Informatique, session

10 Janvier 2014. L'ENS est une école d'enseignement supérieur publique appartenant à l'université Hassan II de Casablanca. Elle regroupe des structures qui s'investissent pleinement dans les domaines de la formation et de la recherche scientifique pour contribuer au développement du Maroc. D'un côté, la mission de ces structures consiste à :

- Assurer des formations scientifiques et techniques de qualité en adéquation avec le marché de l'emploi ;
- Développer la recherche scientifique fondamentale et appliquée pour contribuer à la production du savoir ; répondre au besoin des entreprises et encourager l'innovation ;
- Dispenser des formations pédagogiques pour répondre aux besoins du secteur de l'enseignement public et privé,
- Participer au progrès scientifique, technique, professionnel et économique du pays.

D'un autre côté, les valeurs de ces structures se résument en :

- S'engager à développer le professionnalisme, le sens de la responsabilité, la créativité et le respect,
- S'engager à respecter les principes d'équité, d'égalité des chances et de la pluralité culturelle,
- S'engager à émuler l'excellence, la créativité et l'innovation.

Depuis son attachement à l'enseignement supérieur en 2007, l'ENS assure les actions de formation initiale des étudiants se destinant aux métiers du professorat et de l'éducation. L'offre de formation dispensée se caractérise par une très grande richesse disciplinaire et s'inscrit dans une optique professionnelle. Les parcours de licences professionnelles et de masters spécialisés offerts comportent des enseignements communs permettant l'acquisition d'une culture professionnelle partagée et des enseignements spécifiques en fonction des disciplines et des niveaux d'enseignement. Ils s'articulent autour d'enseignements disciplinaires et didactiques mais aussi en pédagogie et en sciences de l'éducation. L'ensemble de ces formations sont listées ci-dessous :

Licence en Éducation : BAC + 3

- ▶ Spécialité enseignement MATHÉMATIQUES ;
- ▶ Spécialité enseignement SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE ;
- ▶ Spécialité enseignement PRIMAIRE ;
- ▶ Spécialité enseignement SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES.

Licence Professionnelle d'Enseignement : BAC + 3

- ▶ Sport et Loisirs ;
- ▶ Éducation Physique et Sportive ;
- ▶ Métiers d'enseignement du Français.

Master/Master Spécialisé : BAC+ 5

- ▶ ANALYSE NUMÉRIQUE DES ÉQUATIONS AUX DÉRIVÉES PARTIELLES ;
- ▶ MÉTIERS DE FORMATION ET D'ENCADREMENT ;
- ▶ MÉTIERS DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA FORMATION EN SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES.

l'ENS est organisée sous forme de départements qui sont les suivant :

Départements

- ▶ Mathématiques et Informatique ;
- ▶ Physique Chimie ;

- ▶ Biologie Géologie ;
- ▶ Langues et Sciences de l'Education ;
- ▶ Education Physique et Sportive.

La formation à l'ENS est dispensée sous forme d'enseignements théoriques et d'activités pratiques organisés en modules et en semestres. Un module d'enseignement est constitué par des enseignements théoriques et/ou pratiques portant sur une ou plusieurs matières ayant des objectifs, des contenus et une didactique qui leur sont propres. Son volume horaire est organisé en des cours magistraux, des travaux dirigés et travaux pratiques. Aussi sont organisés des contrôles, des évaluations, des visites, des stages et des activités culturelles et sportives. Depuis mon intégration à l'ENSC, j'assure les activités suivantes :

- Enseignement des modules ;
- Encadrement des mini-projets et des projets de fin d'études pour les licenciés ;
- Encadrement des projets de fin d'études pour les filières de Master ;
- Participation aux activités pédagogiques et scientifiques.

3.2 Enseignement de modules

Depuis le mois d'avril 2014, date de mon intégration à l'école normale supérieure de Casablanca, j'ai la charge d'enseigner les modules et éléments de modules suivants :

- Le module Introduction à l'informatique, pour les filières : 1^{ère} année LEM/LCMSI/LEESM.
- Le module Algorithmique I, pour les filières : 1^{ère} année LEM/LCMSI/LEESM.
- Le module Algorithmique et programmation en C pour les filières : 2^{ème} année LEM/LCMSI/LEESM.
- Le module Algorithmique et structures de données pour les filières : 2^{ème} année LEM/LCMSI/LEESM.
- Le module Structures de données avancées pour la filière 1^{ère} année master MMCSI.
- Le module Protocoles et réseaux pour la filière 1^{ère} année master MMCSI.
- Le module La programmation orientée objet JAVA pour la filière 2^{ème} année master MMCSI.
- Le module Sécurité des Réseaux pour la filière 3^{ème} année licence LCMSI.
- Le module Programmation orientée objet C++ pour la filière 3^{ème} année licence LCMSI.
- L'élément du module Programmation Python pour la filière 1^{ère} année master MEFSPC.
- L'élément du Informatique appliquées aux STAPS pour la filière LPQ-EPS.

3.2.1 Module : Introduction à l'informatique (Info 1)

Ce module concerne pour les étudiants de la filière 1^{ère} année Licence d'Enseignement de Mathématiques (LEM), et 1^{ère} année Licence Crypto Mathématique et Sécurité de l'Information (LCMSI), Semestre 1, pour les années universitaires suivantes : 2014/2015 ,2015/2016 et 2016/2017. A partir de l'année universitaire 2018/2019 jusqu'à nos jours, ce module s'adresse aux étudiants de la la filière 1^{ère} année Licence d'éducation Enseignement Secondaire Mathématiques (LEESM).

3.2.1.1 Objectifs du module

Les objectifs de ce module sont :

- ▶ Poser les bases des concepts fondamentaux de l'informatique et démystifier l'ordinateur à travers le rôle de ses composants.
- ▶ Être capable d'appliquer un raisonnement logique et comprendre l'arithmétique binaire .
- ▶ Être capable de concevoir un circuit logique.
- ▶ Appréhender la complexité d'un système informatique en abordant aussi des notions sur les systèmes d'exploitation et les réseaux.

3.2.1.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est comme suit (table 3.1) :

Composante(s) du module	Volume horaire (VH)				
	Cours	TD	TP	Evaluation des connaissances	VH global
VH global du module	28h	18h		4h	50h
% VH	56%	36%		8%	100%

TAB. 3.1 – Volume horaire du module Informatique 1 : Introduction à l'informatique

3.2.1.3 Contenu du module

a. Cours et TD

1. Histoire de l'informatique

- Frise chronologique coté théories
- Frise chronologique coté supports physiques
- futur.

2. La représentation des informations en ordinateur

- Introduction
- Systèmes de numérotation et codage des nombres
- La représentation des entiers naturels (\mathbb{N})
- La représentation des entiers signés \mathbb{Z}
- Les opérations arithmétiques en binaire
- La représentations des nombres fractionnaires (\mathbb{Q}/\mathbb{R})
- Représentation des caractères
- Autres types des données

3. Algèbre de boole

- Introduction
- onctions logiques (ET, OU, NON, NAND, NOR et XOR)
- Règles de l'Algèbre de Boole
- Théorème de De Morgan
- Simplification des fonctions logiques

- Circuits logiques

4. Architecture simplifiée d'un ordinateur

- Histoire de l'ordinateur
- Les principales catégories des ordinateurs
- Architecture de von Neumann
- Composants classiques d'un ordinateur
- Unité centrale de traitement (CPU)
- Les mémoires
- Les unités d'entrées/sorties

5. Système d'exploitation d'un ordinateur

- Introduction
- Notions de base sur les logiciels
- Définition d'un système d'exploitation ?
- Les fonctionnalités du système d'exploitation
- Les types des systèmes d'exploitation
- La gestion des fichiers

6. Langages de programmation

- Notions de base sur la programmation
- Langage machine
- Langage de programmation
- Niveaux de langage
- Exemples des langages de programmation

7. Réseaux et Internet

- Notions de bases sur les réseaux
- Principe de fonctionnement d'un réseau
- Architecture des réseaux
- Notions de base sur internet
- Protocoles Internet

3.2.2 Module : Algorithmique I (info 2)

Ce module est dispensé pour les étudiants de la filière 1ère année LEM/LCMSI, Semestre 2, pendant les années universitaires suivantes : 2014/2015, 2015/2016 et 2016/2017. A partir de l'année universitaire 2018/2019, ce module est dispensé pour les étudiants de la 1ère année LEESM.

3.2.2.1 Objectifs du module

Les objectifs de ce module sont :

- ▶ Comprendre, analyser et modéliser un problème ou une situation pouvant être traité par l'informatique ;
- ▶ Adopter une démarche de travail (définir le cahier de charge, les données, les résultats attendus, les traitements à effectuer, etc) ;

- ▶ Comprendre un algorithme et expliquer son déroulement et son rôle ;
- ▶ Choisir les structures pouvant représenter les données dans la mémoire ;
- ▶ Découper le problème en plusieurs parties (modules).

3.2.2.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est comme suit (table 3.2) :

Composante(s) du module	Volume horaire (VH)				
	Cours	TD	TP	Evaluation des connaissances	VH global
VH global du module	28h	18h		4h	50h
% VH	56%	36%		8%	100%

TAB. 3.2 – Volume horaire du Module Informatique 2 : Algorithmique I

3.2.2.3 Contenu du module

a. Cours

1. Introduction a l'algorithmique

- Notions de base sur l'algorithmique,
- Les instructions fondamentales.
- Des exemples

2. Les éléments de base d'un algorithme

- notion d'une variable,
- opérateurs et expressions,
- affectation,
- les instructions d'entrée/sortie.

3. La structure conditionnelle

- Introduction
- Définition de la structure conditionnelle
- Cas d'un seul choix : la primitive si-alors
- Cas deux choix possibles : la primitive si-alors-sinon
- Cas de plusieurs choix possibles : tests imbriqués

4. Les structures itératives (boucles)

- Introduction
- Définition de la structure itérative
- La boucle déterministe : la primitive Pour
- La boucle non déterministe : la primitive Tant que
- La boucle non déterministe : la primitive Répéterjusqu'à

5. Fonctions / Procédures

- Introduction
- Concepts de la programmation modulaire
- Définition et l'appel d'un sous programme
- Portée des variables (variables locales, variables globales)

6. Les tableaux à une seule dimension

- Définition d'un tableau
- Déclaration d'un tableau
- Accès aux éléments d'un tableau
- Parcours d'un tableau

7. Les chaînes de caractères

- Définition d'une chaîne de caractères
- Déclaration d'une chaîne de caractères
- Les opérations d'entrée/sortie
- Accès aux composantes d'une chaîne de caractères
- Les fonctions prédéfinies sur les chaînes

8. Les tableaux à deux dimensions (matrices)

- Définition d'une matrice
- Déclaration d'une matrice
- Accès aux éléments d'une matrice
- Parcours d'un tableau

b. Travaux dirigés : Exercices et applications.

3.2.3 Module : Algorithmique et programmation en C (info 3)

Ce module est dispensé pour les étudiants de la filière 2ème année LEM/LCMSI, Semestre 3, pendant les années universitaires suivantes : 2014/2015, 2015/2016 et 2016/2017. A partir de l'année universitaire 2018/2019, ce module s'adresse aux étudiants de la 2ème année LEESM.

3.2.3.1 Objectifs du module

- ▶ Mettre en oeuvre les différentes notions vues dans le module Informatique 2 à travers l'utilisation du langage de programmation comme C.
- ▶ Maîtriser la programmation en langage C.
- ▶ Initiation aux structures de données

3.2.3.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est la suivante (table 3.3) :

3.2.3.3 Contenu du module

a. Cours et TD

Composante(s) du module	Volume horaire (VH)				
	Cours	TD	TP	Evaluation des connaissances	VH global
VH global du module	22h	12h	12h	4h	50h
% VH	44%	24%	24%	8%	100%

TAB. 3.3 – Volume horaire du module Informatique 3 : Algorithmique et programmation en C

1. Introduction de base

- Historique,
- Structure d'un programme en C.

2. Types de base, opération et expressions :

- Variables,
- Types de base,
- Expressions
- Instructions, Casting.

3. Les fonctions d'entrées /sorties

- printf, scanf, getchar.

4. Les instructions du contrôle

- Instructions de séquence
- Instructions de choix
- Instructions de répétition.

5. Les fonctions

- Déclaration d'une fonction,
- Définition,
- Appel,
- Variable locale et variable globale,

6. Les tableaux et les chaînes de caractères

- Tableaux à une seule dimension
- Tableaux à deux dimensions
- Chaînes de caractères.

7. La récursivité

- Concepts de base sur la récurrence
- Différents types de la récursivité
- Pile des appels.

8. Les algorithmes de recherche et tri

- Recherche séquentielle,
- Recherche dichotomique,

- Tri par sélection,
- Tri par insertion,
- Tri à bulles, tri fusion et tri rapide.

9. Les structures

- Définition et déclaration,
- Utilisation d'une structure,
- Tableaux de structures.

10. Les fichiers

- Généralité sur les fichiers,
- Manipulation des fichiers,
- Entrées-sorties sur les fichiers textes,
- Gestion des erreurs,
- Fichiers binaires.

b. Travaux pratiques

- **TP1** : L'affectation & Les opérations d'entrées /sorties ;
- **TP2** : Les structures conditionnelles ;
- **TP3** : Les boucles ;
- **TP4** : Les fonctions ;
- **TP5** : Les tableaux & les chaînes de caractères ;
- **TP6** : Les structures (struct) & les fichiers.

3.2.4 Module : Algorithmique et structures de données (info 4)

Ce module est dispensé pour les étudiants de la filière 2ème année LEM/LCMSI, Semestre 4, pendant les années universitaires suivantes : 2014/2015, 2015/2016 et 2016/2017. A partir de l'année universitaire 2018/2019, ce module est dispensé pour les étudiants de la 2ème année LEESM.

3.2.4.1 Objectifs du module

- ▶ Maîtriser de près les pointeurs et la gestion de la mémoire ;
- ▶ Approfondir la représentation et le traitement des structures de données linéaires : liste chaînes, pile/file ;
- ▶ Approfondir la représentation et le traitement des structures de données non linéaires : arbres binaires, arbre binaire de recherche.

3.2.4.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est donnée dans la table 3.4 :

3.2.4.3 Contenu du module

a. Cours

1. Les pointeurs

Composante(s) du module	Volume horaire (VH)				
	Cours	TD	TP	Evaluation des connaissances	VH global
VH global du module	22h	12h	12h	4h	50h
% VH	44%	24%	24%	8%	100%

TAB. 3.4 – Volume horaire du module Informatique 4 : Structures de données en langage C

- définition et déclaration
- adressage direct et indirecte des variables,
- les opérations arithmétiques sur les pointeurs
- pointeur et tableau.

2. Gestion dynamique de la mémoire

- rappel sur les mémoires,
- intérêts des pointeurs,
- allocation statique et dynamique de la mémoire,
- les fonctions de la gestion de mémoire.

3. Les listes simplement chaînées

- définition et déclaration d'une liste chaînée,
- applications,
- les primitives

4. Les listes doublement chaînées

- définition et déclaration,
- applications,
- les primitives.

5. Structures dynamiques pile et file

- implémentation d'une pile,
- les primitives d'une pile,
- implémentation d'une file,
- les primitives d'une file.

6. Les arbres

- terminologie et propriétés,
- applications,
- implantation d'un arbre binaire,
- notion de parcours,
- les primitives.

7. Les arbres binaires de recherche

- définition,
- implantation,

- primitives.

b. Travaux dirigés : Exercices et applications des cours.

c. Travaux pratiques

- **TP1** : Poiteur et gestion dynamique de la mémoire
- **TP2** : Liste simplement chaînée
- **TP3** : Liste doublement chaînée
- **TP4** : Pile et File
- **TP5** : Arbres binaires

d. Mini-projet

Afin de maîtriser ce module, je propose chaque année un mini-projet qu'il faut réaliser individuellement. La liste des mini projets que j'ai proposé jusqu'à maintenant sont présentées dans la section 3.4.5.3.

3.2.5 Module :Structures de données avancées

Ce module est destiné pour les étudiants de la 1ère année master Mathématiques, Cryptologie et Sécurité Informatique (MMCSI) Semestre 1, pour l'année universitaire 2014/2015.

3.2.5.1 Objectifs du module

- Le thème principal de ce module, est du côté de la programmation, la conception et la mise en oeuvre les concepts du langage C.
- Quand à l'algorithmique, c'est la description et l'emploi de structures de données dynamiques qui sont au centre de ce module.

3.2.5.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est donnée dans la table 3.5 :

Composante(s) du module	Volume horaire (VH)				
	Cours	TD	TP	Evaluation des connaissances	VH global
VH global du module	30h	10h	6h	4h	50h
% VH	60%	20%	12%	8%	100%

TAB. 3.5 – Volume horaire du module Structures de données avancées

3.2.5.3 Contenu du module

a. Cours

1. La récursivité : concepts de base sur la récurrence, les différents types de la récursivité, la pile des appels.

2. Les algorithmes de recherche et tri : recherche séquentielle, recherche dichotomique, tri par sélection, tri par insertion, tri à bulles, tri fusion et tri rapide.
3. Les pointeurs et gestion de la mémoire : définition, utilisation, adressage direct et indirecte des variables, pointeur et tableau. allocation statique et dynamique de la mémoire, les fonctions de la gestion de mémoire.
4. Les listes simplement chaînées : définition et déclaration d'une liste chaînée, applications, les primitives
5. Les listes doublement chaînées : définition et déclaration, applications, les primitives.
6. Structures dynamiques pile et file : implémentation d'une pile, les primitives d'une pile, implémentation d'une file, les primitives d'une file.
7. Les arbres : terminologie et propriétés, applications, implantation d'un arbre binaire, notion de parcours, les primitives.
8. Les arbres binaires de recherche : définition, implantation, primitives.
9. Introduction à la théorie des graphes : définition, implantation, les algorithmes de parcours, algorithme de Dijkstra.
10. Table de hachage : présentation et utilisation d'une table de hachage, méthodes de hachage et résolutions des collisions.

b. Travaux dirigés : Exercices et applications des cours.

c. Travaux pratiques :

- **TP1** : Arbres binaires
- **TP2** : Graphes
- **TP3** : Table de hachage

d. Mini-projets

Je propose chaque année un mini-projet qu'il faut réaliser individuellement. L'ensemble de ces mini-projets sont présentés dans la section 3.4.5.3.

3.2.6 Module : Protocoles et réseaux

Ce module est dispensé pour les étudiants de la 1ère année master Mathématiques, Cryptologie et Sécurité Informatique (MMCSI) Semestre 1, pour l'année universitaire 2014/2015.

3.2.6.1 Objectifs du module

- ▶ Proposer les principales architectures des réseaux
- ▶ Donner les normes standards
- ▶ Explorer certains protocoles réseaux
- ▶ Maîtriser la notion de sécurité des réseaux

3.2.6.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est la suivante (table 3.6) :

Composante(s) du module	Volume horaire (VH)				
	Cours	TD	TP	Evaluation des connaissances	VH global
VH global du module	30h	10h	6h	4h	50h
% VH	60%	20%	12%	8%	100%

TAB. 3.6 – Volume horaire du module Protocoles et réseaux

3.2.6.3 Contenu du cours du module *Protocoles et réseaux* :

a. Cours

1. Introduction aux réseaux informatique

- Canal de transmission
- Notions de transmission
- Principes de la commutation
- Classification des réseaux
- Les équipements d'interconnexion ;

2. Modèle de référence OSI

- La normalisation des réseaux
- Le modèle OSI
- Le modèle TCP/IP
- TCP/IP Versus OS

3. La couche physique

- La normalisation des réseaux
- Le modèle OSI
- Le modèle TCP/IP
- TCP/IP Versus OS

4. La couche Liaison de Données

- Services de la couche Liaison de données
- Sous-couches liaison de données
- La trame
- Techniques de détection et correction d'erreurs
- Protocoles d'accès multiple

5. Les protocoles des réseaux locaux

- Ethernet (IEEE 802.3)
- Token-ring (IEEE 802.5)
- Mise en place d'un réseau local

6. Interconnexion de réseaux locaux

- L'architecture générale
- Les équipements d'interconnexion

- Liaisons de communication
- Le protocole Spanning Tree
- Les réseaux locaux virtuels (VLANs)

7. La couche réseau

- Services de la couche réseau
- IPv4 : Internet Protocol version 4
- Les adresses IP
- Datagrammes IP
- Le protocole ARP (Address Resolution Protocol)
- Le protocole ICMP

8. Les protocoles et algorithmes de routage

- Le routage IP
- Routage IP et sous-réseaux
- CIDR : Classless Inter-Domain Routing
- Les algorithmes de routage

9. La couche transport

- Services de la couche transport
- Le protocole UDP
- Le protocole TCP
- Mise en oeuvre du transfert fiable dans TCP
- L'algorithme du calcul de RTT

10. La couche application

- Services de la couche application
- Le protocole DNS (Domain Name Service)
- Le protocole BOOTP (BOOTstrap Protocol)
- Le protocole DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
- Les autres protocoles de la couche application

11. Les réseaux du futur génération (NGN)

- Réseaux sans fil personnel
- Réseaux sans fil locaux
- Réseaux sans fil métropolitains
- Comparaison et synthèse des technologies sans fil

12. La sécurité des réseaux

- Quelques notions sur la sécurité des réseaux
- Cryptographie,
- RADIUS.

b. Travaux dirigés : Exercices et applications des cours.

c. Travaux pratiques :

- TP1 : Le routage statique et dynamique
- TP2 : Les protocoles de la couche application.
- TP3 : Les Protocoles sécurité

d. Mini-projets

Afin de maîtriser ce module, je propose chaque année un mini-projet qu'il faut réaliser individuellement. La liste des mini projets que j'ai proposé jusqu'à maintenant sont présentées dans la section 3.4.5.3.

3.2.7 Module : La programmation orientée objet JAVA

Ce module est dispensé pour les étudiants de la 2ème année année master Mathématiques, Cryptologie et Sécurité Informatique (MMCSI) Semestre 3, pour l'année universitaire 2015/2016.

3.2.7.1 Objectifs du module

Les objectifs de ce cours sont :

- ▶ Apprendre les concepts de la Programmation Orientée Objet ;
- ▶ Maîtriser la programmation en langage JAVA
- ▶ Maîtriser les fonctionnalités cryptographiques de base en JAVA

3.2.7.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est la suivante (table 3.7) :

Composante(s) du module	Volume horaire (VH)				
	Cours	TD	TP	Evaluation des connaissances	VH global
VH global du module	30h	10h	6h	4h	50h
% VH	60%	20%	12%	8%	100%

TAB. 3.7 – Volume horaire du module La programmation orientée objet JAVA

3.2.7.3 Contenu du module *La programmation orientée objet JAVA* :

a. Cours et TD

1. Programmation classique avec JAVA

- Généralités sur la programmation
- Environnement d'exécution de JAVA
- Les données en JAVA : les primitives
- Les tableaux
- Les structures de contrôle

2. Programmation orientée objet : Classe et Objet

- Présentation de la POO
- Classe
- Attributs
- Constructeur & Objet
- package
- Méthodes
- Objet courant
- Constructeur avec paramètres
- Membres statiques

3. Programmation orientée objet : Encapsulation

- Visibilité des membres : privé et protected
- Encapsulation : rôle et utilisation
- Getters et Setters

4. Programmation orientée objet : Héritage

- Création des objets de la classe dérivée
- Visibilité des attributs
- Le mot clé super
- Personnaliser la classe dérivée
- Traitement des membres spécifiques à la classe dérivée
- Compatibilité de type entre la classe de base et la classe dérivée
- Exemples de classe de base prédéfinies

5. Programmation orientée objet : Polymorphisme

- Principe de polymorphisme
- L'opérateur instanceof
- Transypage ou Cast : conversions de classes
- Classe final (et autres au final)

6. Les classes abstraites et les interfaces

- Héritage (rappel)
- Les classes abstraites
- Les interfaces
- Classe abstraite ou interface
- Classe abstraite vs interface

7. La gestion des exceptions

- Les Exceptions
- Nature d'exception
- Conditions de génération des exceptions
- Types d'Exception en Java

8. Les threads

- Principes généraux

- Mise en oeuvre avec la classe `JAVA.LANG.THREAD`
- Mise en oeuvre avec la classe `JAVA.LANG.RUNNABLE`
- Partage du temps et des données

9. Les collections

- Définition d'une collection
- Les interfaces de collection
- Les classes abstraites de collection
- Les classes concrètes de collection
- Les classes utilitaires

10. Gestion des bases de données avec JDBC

- Présentation de JDBC
- Drivers JDBC
- Interfaces et classes de JDBC
- Transactions et exceptions

11. Les interfaces graphiques

- Généralités sur les interfaces graphiques
- Affichage d'une fenêtre
- Classes de base ; AWT et Swing
- Placer des composants dans une fenêtre
- Gestion des événements
- Modèle MVC

12. La gestion de la sécurité avec JAVA

- Politique de sécurité
- Les outils pour la sécurité
- L'architecture JCA (Java Cryptography Architecture)
- API JCE (Java Cryptography Extension)
- RADIUS.

b. Travaux pratiques :

- **TP1** : Héritage
- **TP2** : Polymorphisme
- **TP3** : Interfaces graphiques

c. Mini-projets

Afin de maîtriser ce module, je propose chaque année un mini-projet qu'il faut réaliser individuellement. La liste des mini projets que j'ai proposé jusqu'à maintenant sont présentées dans la section 3.4.5.3.

3.2.8 Module : Sécurité des Réseaux

Ce module est dispensé pour les étudiants de la filière 3ème année LCMSI, Semestre 5, pour l'année universitaire 2016/2017.

3.2.8.1 Objectifs du module

Les objectifs de ce cours de l'électricité sont :

- ▶ Assimiler les principales architectures et protocoles des réseaux
- ▶ Assimiler les bases de la sécurité des réseaux.
- ▶ Comprendre les différentes formes d'attaques dont les réseaux et les systèmes peuvent être victimes
- ▶ Découvrir les méthodes et les outils : anti-virus, pare-feux, détecteurs d'intrusions, etc...

3.2.8.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est comme suit (table 3.8) :

Composante(s) du module	Volume horaire (VH)				
	Cours	TD	TP	Evaluation des connaissances	VH global
VH global du module	24h	10h	12h	4h	50h
% VH	48%	20%	24%	8%	100%

TAB. 3.8 – Volume horaire du module Sécurité des Réseaux

3.2.8.3 Contenu du cours du module *Sécurité des réseaux* :

a. Cours et TD

1. Introduction aux réseaux informatique

- Canal de transmission
- Notions de transmission
- Principes de la commutation
- Classification des réseaux
- Les équipements d'interconnexion ;

2. Modèle de référence OSI

- La normalisation des réseaux
- Le modèle OSI
- Le modèle TCP/IP
- TCP/IP Versus OS

3. Les protocoles des réseaux

- Protocoles d'accès multiple
- Les protocoles des réseaux locaux
- Les protocoles de la couche réseau
- Les protocoles de la couche transport
- Les protocoles de la couche application

4. Des notions de base sur la sécurité

- Introduction

- Les services de la sécurité
- Les menaces contre les réseaux
- Moyens de lancer une attaque

5. Méthodes d'authentification

- Introduction
- Le processus de hachage
- Mots de passe sécurisés
- Les signatures numériques
- Les certificats numériques

6. Les Protocoles sécurité

- Protocole de sécurité de la couche transport : TLS
- Protocole de sécurité de la couche présentation : SSL
- Protocole de sécurité de la couche application : SSH
- Les VPN
- Protocole IPSec
- Protocole Radius

7. IDS et IPS

- Les techniques de détection
- Emplacement des IDS
- Les différentes actions des IDS
- IDS vers IPS

8. Sécurité des réseaux sans fil

- Introduction aux WLANs
- Attaques contre les WLANs
- Conséquences des Attaques
- Mesures de sécurité
- la norme de sécurité IEEE 802.1X
- WPA/WPA2

b. Travaux pratiques : Les activités pratiques sont organisées, individuellement ou collectivement dans la salle informatique en utilisant le simulateur PacketTracer. L'ensemble des Tps réalisés par les étudiants sont présentés ci-dessous :

- **TP1** : Présentation de l'environnement de travail
- **TP2** : Création d'un réseau local filaire /sans fil
- **TP3** :Analyseur de trames WireShark ;
- **TP4** : Configuration du routage statique ;
- **TP5** : Sécurité réseau en utilisant VPN.

c. Mini-projets

Je propose chaque année un mini-projet qu'il faut réaliser individuellement. L'ensemble de ces mini projets sont présentées dans la section 3.4.5.3.

3.2.9 Module : Programmation orientée objet C++

Ce module est dispensé pour les étudiants de la filière 3ème année LCMSI, Semestre 6, pour l'année universitaire 2016/2017.

3.2.9.1 Objectifs du module

Ce cours a pour objectif de procurer une connaissance plus approfondie de la programmation Orientée Objet De façon plus spécifique, ce cours devra permettre à l'étudiant de :

- ▶ Apprendre les concepts de la Programmation Orientée Objet ; ;
- ▶ Maitriser la programmation en langage C++

3.2.9.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est comme suit (table 3.9) :

Composante(s) du module	Volume horaire (VH)				
	Cours	TD	TP	Evaluation des connaissances	VH global
VH global du module	30h	10h	6h	4h	50h
% VH	60%	20%	12%	8%	100%

TAB. 3.9 – Volume horaire du module La programmation orientée objet C++

3.2.9.3 Contenu du module *La programmation orientée objet C++* :

a. Cours

1. Introduction à la programmation orientée objet

- Généralités sur la programmation
- Paradigme de programmation
- Concepts fondamentaux de l'orienté objets

2. Introduction au Langage C++

- Différence entre C et C++
- Les entrées et sorties en C++
- Les structures de contrôle
- Les spécificités du langage C++

3. Notion de classes et objets

- notion de classe
- Variables membre de la classe
- Principe de l'encapsulation
- Notion du constructeur et destructeur
- Fonctions membres d'une classe

- Membres statiques

4. Les fonctions membres

- Surdéfinition des fonctions membres
- Arguments par défaut
- Les fonctions membres en ligne
- Mode de transmission des objets
- Autoréférence : le mot clé this

5. Construction, destruction et initialisation des objets

- Constructeur par défaut
- Constructeur avec arguments
- Constructeur par recopie
- Initialisation des objets par les constructeurs
- Destruction des objets

6. Les fonctions amies

- Fonction indépendante ami d'une classe
- Les différentes situations d'amitié

7. Surdéfinition des opérateurs

- Mécanisme de surdéfinition des opérateurs
- Les possibilités et les limites de surdéfinition des opérateurs

8. Héritage

- Définition et mise en œuvre du principe d'héritage
- Utilisation, dans une classe héritée, des membres de classe de base
- Redéfinition des fonctions membres
- Appel des constructeurs et destructeurs
- Héritage privé
- Héritage multiple

9. Polymorphisme

- Redéfinition des fonctions membres
- Définition du principe de polymorphisme
- Mise en œuvre du polymorphisme
- Fonctions virtuelles et classe abstraite

b. Travaux dirigés : Exercices et applications.

c. Travaux pratiques :

- **TP1** : Héritage
- **TP2** : Polymorphisme
- **TP3** : Interfaces graphiques

3.2.10 Élément de Module : Modélisation et simulation avec Python

L'élément Programmation python du module "Modélisation et simulation en sciences physiques et chimiques" dispensé pour les étudiants de la 1ère année master METIERS DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA FORMATION EN SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES, Semestre 1, depuis l'année universitaire 2017/2018.

3.2.10.1 Objectifs de l'élément du module

- ▶ La présentation d'une part, des concepts fondamentaux de la programmation en python, d'autre part l'utilisation des modules pour le calcul scientifique ;
- ▶ Les étudiants doivent être capables d'appliquer les outils de la modélisation et de la simulation pour résoudre des problèmes liés à la chimie et à la physique.

3.2.10.2 Composition de l'élément du module

La répartition horaire de cet élément de module est comme suit (table 3.10) :

éléments du module	Volume horaire global			
	Cours	TD	TP	Total
<i>1. Programmation python</i>	10h	3h	12h	25h
<i>2. Modélisation et simulation</i>	12h	5h	8h	25h
Total	22h	8h	20h	
Total Général	50h			

TAB. 3.10 – Volume horaire de l'élément du module Programmation python

3.2.10.3 Contenu de l'élément du module *Progammation Python* :

a. Cours et TD

1. Les structures de base du langage Python

- Présentation de Python
- Les éléments de base
- Types, variables...
- Les opérateurs et évaluation des expressions
- Les Entrées / Sorties
- Les structures de contrôle

2. Les fonctions en pyhton

- Introduction
- Définition et Appel
- La portée des variables (variables locales, variables globales)
- Les modules

3. listes

- Concepts fondamentaux
- Accès aux composantes d'une liste
- Les tranches (slicing)
- Fonctions communes sur les listes
- Méthodes pour les listes

4. Chaînes de caractères (str)/ Fichiers (File)

- Traitement d'une chaîne de caractères en Python
- Les fonctions prédéfinies sur les chaînes
- Généralité sur les fichiers
- Manipulation des fichiers
- Les fonctions d'entrées-sorties sur les fichiers textes
- Le module pickle pour la gestion des fichiers binaires

5. Les structures de données en python

- Tuples
- Dictionnaires
- Ensembles

6. Python Scientifique

- Compléments Python
- NumPy, SciPy
- Matplotlib
- Zéro d'une fonction
- Calculs approchés d'intégrales
- Résolution équations différentielles
- Résolution de systèmes linéaires

b. Travaux Pratiques

- **TP1** : Les structures conditionnelles et itératives ;
- **TP2** : Les fonctions ;
- **TP3** : Les listes ;
- **TP4** : Python Scientifique.

3.2.11 Élément de Module : Informatique appliquées aux STAPS

C'est un élément (Informatique) du module "Technologie de l'information et de la communication en éducation(TICE)" dispensé pour les étudiants de la filière LPQ-EPS Semestre 5, pour les années universitaires suivantes : 2014/2015, 2015/2016 et 2016/2017.

3.2.11.1 Objectifs

Cet élément du module vise à préparer l'étudiant à :

- ▶ Prendre en main les outils nécessaires à la production des supports multimédia pour sa future action professionnelle,
- ▶ Concevoir, produire et médiatisation un contenu pédagogique dans environnement interactif .

3.2.11.2 Composition du module

La répartition horaire de ce module est comme suit (table 3.11) :

éléments du module	Volume horaire global			
	Cours	TD	TP	Total
<i>1. Informatique appliquées aux STAPS</i>	15h	5h	10h	30h
<i>2. Langues et traduction</i>	20h	10h		30h
Total	35h	15h	10h	
Total Général	60h			

TAB. 3.11 – Volume horaire de l'élément du module Informatique

3.2.11.3 Contenu de l'élément du module *Informatique appliquées aux STAPS* :

a. Cours et TD

1. Architecture simplifiée d'un ordinateur

- Composants de base
- Mémoire centrale et représentation des données
- Représentation de données dans la mémoire
- Processeur (caractéristiques et fonctions)
- Périphériques d'entrée-sortie

2. Système d'exploitation d'un ordinateur

- Définition et exemples de systèmes d'exploitation (Windows et Linux),
- Fonctions principales d'un système d'exploitation (vérification des ressources, gestion de fichiers, gestion de dossiers, ...),
- Exemples d'utilisation de quelques commandes usuelles sur windows (création de dossiers, copie de fichiers, ...),
- Le panneau de configuration et l'explorateur Windows

3. Initiation à l'internet

- Introduction
- Notions de bases sur les réseaux
- Notions de base sur internet
- Adresse IP, Nom de domaine et URL
- Protocoles Internet

4. Microsoft Word

- Introduction
- Mise en forme de textes
- Mise en page et l'impression
- Les tableaux
- Les images
- Les différents outils
- La table des matières

5. *Microsoft Excel*

- Introduction
- Élément de mise en forme
- Mise en forme conditionnelle
- Les graphiques
- Elaborer des formules simples
- Faire un calcul sur plusieurs feuilles.
- Les adresses absolues et les noms des cellules.
- Trier les données
- Les filtres
- Les fonctions Excel (mathématiques, logiques, Date et Heure ,RECHERCH,etc)

b. Travaux Pratiques Les activités pratiques sont organisées, dans la salle de TP afin de maîtriser les outils de base de l'informatique. Les intitulés des TP sont les mêmes que les chapitres de cet élément du module.

3.2.12 Supports TIC

- **Module Informatique 1** : les chapitres de ce module sont publiés sur le site :
<http://www.slideshare.net/lahby/chapitre-4-architecture-simplifie-dun-ordinateur>
- **Module Informatique 2** : les chapitres de ce module sont publiés sur le site :
<http://www.slideshare.net/lahby/chap1-introduction-lalgoritmique>
- **Module Informatique 3** : les chapitres de ce module sont publiés sur le site :
<http://www.slideshare.net/lahby/les-listes-simplement-chanes-en-langage-c>
- **Module Protocoles et réseaux** : les chapitres de ce module sont publiés sur le site :
<http://www.slideshare.net/lahby/chapitre-2-modle-de-rfrence-osi>
- **Module programmation orientée objet JAVA** : les chapitres de ce module sont publiés sur le site :
<http://www.slideshare.net/lahby/programmation-java-70233611>
- **Module structures de données avancées** : les chapitres de ce module sont publiés sur le site :
<http://www.slideshare.net/lahby/chapitre-8-les-arbres>
- **Module programmation orientée objet en C++** : les chapitres de ce module sont publiés sur le site :
<http://www.slideshare.net/lahby/support-de-cours-langage-c>

3.2.13 Didactique suivie

Les enseignements programmés de chaque module sont dispensés sous formes de :

3.3. RESPONSABILITÉS PÉDAGOGIQUES ET ADMINISTRATIVES

- Cours magistraux construits à travers une démarche privilégiant l'intervention des apprenants. Le cours magistral s'est déroulé sous forme d'exposé (un polycopié du cours est mis à la disposition de l'étudiant lui permettant de préparer la séance du cours à l'avance) ;
- Travaux dirigés qui traitent des exemples et applications des notions traitées dans le cours. Des polycopiés de ces travaux sont mis à la disposition de l'étudiant pour préparer la séance du TD à l'avance ;
- Travaux pratiques permettant la vérification expérimentale du contenu du cours théorique et initiant les étudiants aux activités d'équipes. Des polycopiés de ces travaux sont mis à la disposition de l'étudiant lui permettant de préparer la séance du TP à l'avance ;
- Livres, Documents, Webgraphie et Plate-formes d'expérimentation sont offerts aux étudiants ;
- Projets ou des mini-projets s'il sont lieu, sont effectués en relation avec chaque discipline pour mettre en application les points soulevés dans chaque module.

3.3 Responsabilités pédagogiques et administratives

- Membre du comité pédagogique pour le projet d'accréditation de la filière LEESM.
- Responsable du module Introduction à l'informatique, pour les filières : 1^{ère} année LEM/LCMSI/LEESM.
- Responsable du module Algorithmique I, pour les filières : 1^{ère} année LEM/LCMSI/LEESM.
- Responsable du module Algorithmique et programmation en C pour les filières : 2^{ème} année LEM/LCMSI/LEESM.
- Responsable du module Algorithmique et structures de données pour les filières : 2^{ème} année LEM/LCMSI/LEESM.
- Responsable du module Structures de données avancées pour la filière 1^{ère} année master MMCSI.
- Responsable du module Protocoles et réseaux pour la filière 1^{ère} année master MMCSI.
- Responsable du module La programmation orientée objet JAVA pour la filière 2^{ème} année master MMCSI.
- Responsable du module Sécurité des Réseaux pour la filière 3^{ème} année licence LCMSI.
- Responsable du module Programmation orientée objet C++ pour la filière 3^{ème} année licence LCMSI.
- Responsable de l'élément du module Programmation Python pour la filière 1^{ère} année master MEFSPC.
- Responsable de l'élément du Informatique appliquées aux STAPS pour la filière LPQ-EPS.
- Membre de commissions d'entretiens de sélection, de classement pour l'accès en 1^{ère} année LEM/LCMSI.
- Membre de commissions d'entretiens de sélection, de classement pour l'accès en 1^{ère} année LEESM.
- Membre de commissions d'entretiens de sélection, de classement pour l'accès en 1^{ère} année master MMA.
- Membre de commissions d'entretiens de sélection, de classement pour l'accès en 1^{ère} année master ANEDP.
- Membre du comité de sélection des candidats pour le cycle de doctorat, Laboratoire LMA, ENS.

3.4 Encadrement des projets et des mini-projets

En plus des enseignements que j'ai assuré et qui sont présentés ci-avant (cours magistraux, TD et TP), j'ai encadré plusieurs projets de fin d'études et des mini-projets. Cet encadrement concerne surtout les étudiants de cycle de Master et les étudiants de cycle de Licence. En voici les détails de ces projets pour chaque filière.

3.4.1 Encadrement des projets de Fin d'Etudes de Master

A partir de l'année universitaire 2015-2016 j'ai participé à l'encadrement des étudiants de trois master différents pour réaliser leurs projets de fin d'études. Jusqu'à nos jours, j'ai encadré les PFEs suivants pour les trois master MMCSI, MMA et 3I :

3.4.1.1 Encadrement de PFEs dans le Master MMCSI

❶ *Projet de Mohamed Yassine ISMAILI*

- *Intitulé* : Vers un système de management de processus sécurisé à la base des empreintes digitales.
- *Lieu de stage, Date de soutenance* : CABINET BEGDOUR de Rabat, 21 Juin 2016

❷ *Projet de Abdelwahed AIT BOULAHSEN*

- *Intitulé* : Analyse et conception d'un logiciel de gestion commerciale.
- *Lieu de stage, Date de soutenance* : TARCET TEC de Casablanca, 14 Juillet 2016

3.4.1.2 Encadrement de PFEs dans le Master MMA

❶ *Projet de Abdelghani HALLOUMI*

- *Intitulé* : Amélioration des Méthodes d'Aide à la Décision Multi-Attributs (MADM).
- *Lieu de stage, Date de soutenance* : laboratoire LMA, ENS, 26 Juillet 2016

3.4.1.3 Encadrement de PFEs dans le Master ANEDP

❶ *Projet de Said FAHIM*

- *Intitulé* : Modélisation mathématique du risque de la contagion dans le système bancaire.
- *Lieu de stage, Date de soutenance* : laboratoire LMA, ENS, 26 Juillet 2019

❷ *Projet de Hamza SAYYOU*

- *Intitulé* : Analyse de performances de quelques variantes de l'algorithme Rank Page de Google.
- *Lieu de stage, Date de soutenance* : laboratoire LMA, ENS, 26 Septembre 2019

3.4.1.4 Encadrement de PFEs dans le Master 3I

❶ *Projet de Hind JANATI / Manal MAHBOUB*

- *Intitulé* : Evaluation de performances du handover vertical entre les réseaux WIFI et 3G à base de la plateforme ODTONE.
- *Lieu de stage, Date de soutenance* : laboratoire RII, 14 Juillet 2016

❷ *Projet de Ayoub Essouiri*

- *Intitulé* : Modélisation et Optimisation du Handover Vertical dans les Réseaux Hétérogènes à base de la Théorie des Graphes
- *Lieu de stage, Date de soutenance* : laboratoire RII, 11 Juillet 2017

❸ *Projet de Oumaima BOUJADI*

- *Intitulé* : Digitalisation du processus de demande de crédit personnel
- *Lieu de stage, Date de soutenance* : IBM, Casablanca, 09 Juillet 2019

3.4.2 Participation au jury d'évaluation des projets de fin d'études de Master

A partir de l'année universitaire 2015-2016, jusqu'à nos jours, je m'intègre les jury de soutenance en tant que rapporteur ou examinateur afin d'évaluer des projets de fin d'études de Master. La liste des PFEs dans lesquels, j'ai participé en tant que membre du jury est donnée ci-dessous :

1. **Projet de BENTEKOUK HAMZA**

- **Intitulé** : Prise en compte des bus embarqués d'une plateforme avionique drone dans MoSaRT, application à AADL
- **Sous la direction** : Pr. Sekkaki et Pr. Raouyane
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master 3I
- **Date et lieu de soutenance** : 15 Juillet 2016 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.

2. **Projet de Naimy Soukaina/Amine Fennane**

- **Intitulé** : Conception et réalisation d'un système multi-agent pour la simulation des marchés financiers.
- **Sous la direction** : Pr. Sekkaki et Pr. Kzaz
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master 3I
- **Date et lieu de soutenance** : 15 Juillet 2016 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.

3. **Projet de BAKHOUT IMANE**

- **Intitulé** : Analyse comportementale des utilisateurs
- **Sous la direction** : Pr. Fetjah
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master 3I
- **Date et lieu de soutenance** : 11 Juillet 2017 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.

4. **Projet de BOUTALEB HOUSSAINI/JOUTEI Ismail**

- **Intitulé** : Protection des application Web contre les intrusions, par WAF
- **Sous la direction** : Pr. Fetjah
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master 3I
- **Date et lieu de soutenance** : 11 Juillet 2017 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.

5. **Projet de EL WARRAK Othmane**

- **Intitulé** : APSIS : Le traitement Real-Time pour la sécurité Orienté Cloud
- **Sous la direction** : Pr. Sekkaki
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master 3I
- **Date et lieu de soutenance** : 11 Juillet 2017 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.

6. **Projet de Jihane OCHFY**

- **Intitulé** : La refonte et la mise à niveau du mécanisme existant qui permet la consultation des statistiques du parc d'automates BNP Paribas
- **Sous la direction** : Pr. Raouyane
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master 3I
- **Date et lieu de soutenance** : 12 Juillet 2017 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.

7. **Projet de YOUSRI Sara**

- **Intitulé** : Mise en place d'une solution de suivi des coût et calcul de la rentabilité des projets

- *Sous la direction* : Pr. Raouyane
 - *Soutenu pour l'obtention du Master* : Master 3I
 - *Date et lieu de soutenance* :11 Juillet 2017 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.
8. **Projet de WAHABI Hind**
- *Intitulé* : La sécurité et la cybercriminalité
 - *Sous la direction* : Pr. Fetjah
 - *Soutenu pour l'obtention du Master* : Master 3I
 - *Date et lieu de soutenance* :12 Juillet 2017 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.
9. **Projet de BOURABA Hamza**
- *Intitulé* :APSYS : Le traitement des logs en temps réel orienté cloud
 - *Sous la direction* : Pr. Sekkaki
 - *Soutenu pour l'obtention du Master* : Master 3I
 - *Date et lieu de soutenance* :12 Juillet 2017 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.
10. **Projet de SADEK Zakariaa**
- *Intitulé* : La mise en place d'une plateforme de gestion RH et communication interne de l'entreprise
 - *Sous la direction* : M. CHBIHI/S. RABIHI /A. SEKKAKI
 - *Soutenu pour l'obtention du Master* : M3I
 - *Date et lieu de soutenance* :09 Juillet 2017 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.
11. **Projet de KAIS Othmane**
- *Intitulé* : Développement d'un progiciel pour le système d'information de IT Road Consulting
 - *Sous la direction* : Pr. Mohammed Reda CHBIHI/REBAH Adil
 - *Soutenu pour l'obtention du Master* : M3I
 - *Date et lieu de soutenance* :03 Juillet 2018 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.
12. **Projet de BOUSSALHAM Youssef**
- *Intitulé* : Application Android de réalité augmentée pour le choix de meubles de maison
 - *Sous la direction* : Pr. JAI ANDALOUSSI Said/ Mr. OUAZA Aissam
 - *Soutenu pour l'obtention du Master* : M3I
 - *Date et lieu de soutenance* :06 Juillet 2018 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.
13. **Projet de BENACHIR MOHAMED**
- *Intitulé* : Réalisation et Amélioration de la plateforme de souscription des risques majeurs : ForWriter
 - *Sous la direction* : Pr. M. Chbihi/Pr. A. BENHADDOU
 - *Soutenu pour l'obtention du Master* : M3I
 - *Date et lieu de soutenance* :09 Juillet 2019 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.
14. **Projet de BOUGHAZROUN Anass**
- *Intitulé* : Migration du SD0 V6 d'une application de gestion de mandats vers le Framework SPIRIT pour la BNP Paribas
 - *Sous la direction* : Pr. A. SEKKAKI/ Mr. M. RAYAD
 - *Soutenu pour l'obtention du Master* : M3I
 - *Date et lieu de soutenance* :09 Juillet 2019 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.

3.4. ENCADREMENT DES PROJETS ET DES MINI-PROJETS

15. **Projet de DHAIMI ZAKARIA**

- **Intitulé** : DATA Centre Infrastructure Management une application mobile
- **Sous la direction** : Pr. SEKKAKI Abderrahim/ Mr ABOUELATA ISLAM
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : M3I
- **Date et lieu de soutenance** : 09 Juillet 2019 à la Faculté des sciences Ain Chock, Casablanca.

16. **Projet de El Kasmy Jaoud**

- **Intitulé** : Surfaces de bezier
- **Sous la direction** : Prof. HASSAN EL AMRI (ENS, Casablanca)
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master ANEDP
- **Date et lieu de soutenance** : 27 Septembre 2019 à l'école normale supérieure (ENS), Casablanca.

17. **Projet de Slimane EL HASSANI**

- **Intitulé** : Modélisation mathématique en économie
- **Sous la direction** : Prof. KHALIDE HATTAF (CRMEF, Casablanca)
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master ANEDP
- **Date et lieu de soutenance** : 27 Septembre 2019 à l'école normale supérieure (ENS), Casablanca.

18. **Projet de Majda EL YOUNOUSSI**

- **Intitulé** : Modélisation mathématique en cancérologie
- **Sous la direction** : Prof. KHALIDE HATTAF (CRMEF, Casablanca)
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master ANEDP
- **Date et lieu de soutenance** : 27 Septembre 2019 à l'école normale supérieure (ENS), Casablanca.

19. **Projet de El Mahdi HASSOUNE**

- **Intitulé** : Modélisation mathématique et simulation des systèmes dynamiques rapides
- **Sous la direction** : Prof. AZRAR Lahcen (ENSET MOHAMMEDIA)
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master MMA
- **Date et lieu de soutenance** : 01 Mars 2019 à l'école normale supérieure (ENS), Casablanca.

20. **Projet de Hamza REGUIEG**

- **Intitulé** : Bruit et dynamique neuronale
- **Sous la direction** : Prof. Meryem JOUNDI (EST Casa)
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master MMA
- **Date et lieu de soutenance** : 12 Décembre 2018 à l'école normale supérieure (ENS), Casablanca.

21. **Projet de El QRICHI ANIBA Jamal**

- **Intitulé** : Semi-groupes linéaires et applications aux EDPs
- **Sous la direction** : Prof. OUZAHRA MOHAMED (FS Fez)
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master MMA
- **Date et lieu de soutenance** : 01 Mars 2019 à l'école normale supérieure (ENS), Casablanca.

22. **Projet de EL JAOUHARI Haytam**

- **Intitulé** : Apprentissage Machine : Étude des Réseaux de Neurones Profonds ET Applications
- **Sous la direction** : Prof. Oussama Mohamed Reda (FSR RABAT)
- **Soutenu pour l'obtention du Master** : Master MMA
- **Date et lieu de soutenance** : 28 Juillet 2017 à l'école normale supérieure (ENS), Casablanca.

23. *Projet de EL FATHI Jawad*

- *Intitulé* : Système dynamique non linéaires chaos et applications
- *Sous la direction* : Prof. Meriem Joundi (EST Casablanca)
- *Soutenu pour l'obtention du Master* : Master MMA
- *Date et lieu de soutenance* : 28 Juillet 2017 à l'école normale supérieure (ENS), Casablanca.

3.4.3 Encadrement des projets projets de fin d'études de Licence LCMSI

J'ai participé dans l'encadrement d'un seul projet de fin d'études de la première et la dernière promotion de la licence LCMSI. Les informations de ce PFE sont données ci-dessous :

❶ *Projet de Ibtissam MASLOUH*

- *Intitulé* : Next Generation Firewall XG SOPHOS
- *Lieu de stage, Date de soutenance* : IMS Technology Casablanca, 25 Juin 2018

3.4.4 Participation au jury d'évaluation des projets de fin d'études de Licence LCMSI

En parallèle, j'ai été parmi les membres du jury de soutenance des projets de fin d'études de la licence LCMSI. La liste des PFEs dans lesquels, j'ai participé est donnée ci-dessous :

1. *Projet de Lamsaf Mohamed/Lagziri soufiane*

- *Intitulé* : Le Vote électronique conception et implémentation
- *Sous la direction* : Pr. AbdElalim Seddik
- *Lieu de stage* : La faculté des sciences Aïn chock, Casablanca
- *Date de soutenance* : 25 Juin 2018 à l'ENS de Casablanca.

2. *Projet de TAMNI Houda*

- *Intitulé* : Mise en place une solution de sécuriser l'internet : proxy web « Clear Swift »
- *Sous la direction* : Pr. ELMAACHI Salah/ Mr. Edderai Hassan
- *Lieu de stage* : La société PlanetCom Casablanca
- *Date de soutenance* : 25 Juin 2018 à l'ENS de Casablanca.

3. *Projet de Adiba EL Madoume / Nour Al Houda Goura*

- *Intitulé* : Etude et mise en place d'un portail captif sur le réseau de l'Université hassan II Aïn chock
- *Sous la direction* : Pr. S. ELMAACHI / Pr. N. ABGHOUR
- *Lieu de stage* : La faculté des sciences Aïn chock, Casablanca
- *Date de soutenance* : 25 Juin 2018 à l'ENS de Casablanca.

4. *Projet de Ahmed MOUMNI*

- *Intitulé* : Sur Simplification de AES Advanced Encryption Standard
- *Sous la direction* : M. Abderrahim Tragha
- *Lieu de stage* : La faculté des sciences Ben M'Sik Casablanca
- *Date de soutenance* : 25 Juin 2018 à l'ENS de Casablanca.

5. *Projet de Abdelmajid MIHFAD*

- *Intitulé* : Réalisation d'un centre d'opérations réseau à BMA
- *Sous la direction* : M. SENHAJI MOHAMED

3.4. ENCADREMENT DES PROJETS ET DES MINI-PROJETS

- *Lieu de stage* : La société BANCHEREAU MAROC
- *Date de soutenance* : 25 Juin 2018 à l'ENS de Casablanca.

6. *Projet de CHAARI Kawtar*

- *Intitulé* : La sécurité des applications web
- *Sous la direction* : Pr. S. ELMAACHI / Pr. A. BELFAKIR
- *Lieu de stage* : Ministère de l'équipement et du transport et de la logistique et de l'eau
- *Date de soutenance* : 25 Juin 2018 à l'ENS de Casablanca.

7. *Projet de Ayoub ARBAOUI*

- *Intitulé* : La détection des URLS malveillantes
- *Sous la direction* : Mr. Ben Lahmar EL HABIB (FSBM)
- *Lieu de stage* : Faculté des sciences Ben M'sik, Casablanca
- *Date de soutenance* : 25 Juin 2018 à l'ENS de Casablanca.

8. *Projet de Fatima ABDELWASSAA/ Oussama FANGACHI*

- *Intitulé* : Implémentation d'un cryptosystème : Basé sur les équations aux différences
- *Sous la direction* : Pr. EL mamoun SOUIDI (FSR)
- *Lieu de stage* : Faculté des sciences de Rabat.
- *Date de soutenance* : 25 Juin 2018 à l'ENS de Casablanca.

3.4.5 Encadrement des mini-projets

Depuis l'année universitaire 2014/2015 jusqu'à aujourd'hui, j'ai proposé et encadré plusieurs mini-projets pour les étudiants de différentes filières soit en cycle de la licence, soit en cycle du master.

3.4.5.1 Encadrement des mini-projets dans le cycle Master MMCSI

- **2014-2015** : Mini projet pour le module structures de données avancées (Master MMCCSI). Ce mini projet consiste à implémenter une structure d'arbre binaire de recherche et de l'utiliser pour trouver des (co)occurrences de mots au sein d'une même phrase d'un texte donné. Concrètement, on souhaite lister l'ensemble des phrases (par ordre d'occurrence dans le texte) où un ou plusieurs mots apparaissent. L'ordre relatif des différents mots n'a pas d'importance tant qu'ils apparaissent effectivement dans une même phrase.
- **2014-2015** : Mini projet intitulé serveur de "tchatche" pour le module protocoles et réseaux (Master MMSCSI). L'objectif de ce mini projet est de programmer un outil de chat sur le Web, qui permet à des internautes de dialoguer sur le réseau avec d'autres utilisateurs. Il s'agit d'un programme fonctionnant en client/serveur (1 seul serveur et de multiples clients). Chaque utilisateur est identifié par un pseudo.
- **2015-2016** : J'ai proposé une liste des sujets concernant les algorithmes de cryptographie symétrique et asymétrique, à implémenter en langage Java.
 - L'implémentation de l'algorithme de chiffrement symétrique par bloc DES
 - Implémentation de l'algorithme de chiffrement symétrique par bloc AES
 - Implémentation de l'algorithme RSA
 - Implémentation de l'algorithme DSA

- Implémentation des algorithmes RC2, RC4, RC5, RC6 (Rivets Cipher 4)
- Implémentation de Elliptic Curve Cryptography (ECC)
- Implémentation de l'algorithme JULIUS CAESAR
- Implémentation en Java du protocole Diffie-Hellman
- Implémentation de l'algorithme IDEA

3.4.5.2 Encadrement des min-projets dans le cycle licence LCMSI

- **2015-2016** : J'ai proposé une liste des sujets concernant le module sécurité des réseaux.
 - Le Protocole Sécurité de la couche Transport : TLS
 - Le Protocole Sécurité de la couche présentation : SSL
 - Les Protocole Sécurité de la couche application : SSH sur PacketTracer
 - La sécurité des réseaux sans fil avec le protocole WEP (Wired Equivalent Privacy)
 - La sécurité des réseaux sans fil avec le protocole WPA (Wi-Fi Protected Access)
 - Implémentation du protocole IPSec sur PacketTracer
 - Utilisation des tunnels pour la sécurité réseau
 - Sniffer sur PacketTracer
 - ParFeu sur PacketTracer
 - Le Protocole HTTPS sur PacketTracer

3.4.5.3 Encadrement des min-projets pour la filière 2ème année LEM /LCMSI

- **2015-2016** : Mini projet pour le module Informatique 4 : Gestion de transport. L'objectif de ce mini projet est de développer une application en langage C, permettant d'assurer la gestion d'un service de transport de personnes sur un trajet donné.
- **2016-2017** : Mini projet pour le module Informatique 4 : Gestion de Réseau M'dina Bus. L'objectif de ce projet est de développer une application en langage C, permettant de gérer l'ensemble des lignes de bus de la société M'dina bus pour la ville de casablanca.
- **2017-2018** : Mini projet pour le module Informatique 4 : Gestion de location de voitures. L'objectif de ce projet est de développer une application en langage C, permettant d'assurer la gestion de location de voitures pour une agence donnée.
- **2018-2019** : Mini projet pour le module Informatique 4 : Gestion des urgences en langage C. L'objectif de ce projet est de développer une application en langage C, permettant d'assurer la gestion des urgences pour un hôpital donné.

3.5 Animation des séminaires pédagogiques

Depuis 2015 à nos jours, j'ai animé 3 séminaires pédagogiques au profil des étudiants de la filières licence LCMSI et la filière master MMCSI. La liste de ces 3 séminaire est donnée ci-dessous :

- **03 Mars 2018** : Animation d'un séminaire intitulé "Le protocole IP-v6" pour les étudiants de la troisième année licence LCMSI.

- **26 Décembre 2017** : Animation d'un séminaire sur le langage PYTHON pour les de la troisième année licence LCMSI.
- **31 Mai 2015** : Animation d'un séminaire sur le langage PYTHON pour les étudiants du Master MMCSI.

3.6 Attestations pédagogiques

- **Mai 2019** : Certificat IBM Academic **IoT Cloud Developer**.
- **Février 2019** : Certificat IBM Academic **Artificial Intelligence Analyst**.
- **Novembre 2015** : Certificat Universitaire de Pédagogie session 2015.
- **Janvier 2015** : Certificat Cisco CCNA Exploration : LAN Switching and Wireless.
- **Juillet 2014** : Certificat Cisco CCNA Routing Protocols and Concepts.
- **Juillet 2014** : Certificat Cisco CCNA Exploration : Network Fundamentals.

*Des éléments justificatifs concernant ce chapitre peuvent être consultés en **ANNEXE C** **11.3.2.2***

Troisième partie

**PRÉSENTATION DES ACTIVITÉS DE
RECHERCHE**

Activités de recherche de thèse

Sommaire

4.1	Contexte et problématique	56
4.2	Développement d'une nouvelle architecture pour l'optimisation de la sélection du réseau	58
4.2.1	Mise en place d'une nouvelle architecture pour sélection du réseau	58
4.2.2	Une nouvelle approche pour la validation de la sélection du réseau basée sur G-MADM	60
4.2.3	Une nouvelle unité de la différenciation de poids pour améliorer notre architecture	60
4.2.4	Un nouveau modèle efficace pour l'évaluation de performances du handover	60
4.3	Conclusion	60

4.1 Contexte et problématique

Les réseaux de la future génération constituent un environnement hétérogène sans fil. Le déploiement des nouvelles technologies d'accès 3G (WIFI, UMTS) et 4G (WIMAX, LTE) au sein de cet environnement apporte une solution prometteuse en remplaçant l'infrastructure filaire par une autre dite sans fil. Cette nouvelle infrastructure sans fil a donné naissance à l'internet mobile, en permettant aux utilisateurs un accès à l'information et aux services indépendamment de leurs positions géographiques.

En plus, ce changement au niveau de type de connexion a motivé les constructeurs de la télécommunication pour développer des terminaux mobiles multi-interfaces tels que Ipad, tablette, smartphone, etc. Cette diversité des interfaces permet aux utilisateurs de se connecter simultanément aux plusieurs technologies réseaux. En parallèle, dans cet environnement hétérogène, les utilisateurs ont l'opportunité de profiter de nombreuses applications telles que la video-conférence, les jeux en ligne, etc.

Le concept "Always Best Connected (ABC)" est devenu un problème majeur dans cet environnement hétérogène. En effet, en se basant sur les fonctionnalités du paradigme ABC, les utilisateurs doivent se connecter aux différents services à tout moment, n'importe où et à n'importe quelle technologie d'accès. Afin d'assurer le paradigme ABC, la mise en oeuvre d'une architecture pour la gestion du handover vertical est devenue indispensable.

Le handover vertical consiste à rediriger automatiquement le flux d'une application à partir d'une interface réseau vers une autre interface dans le but d'assurer une continuité de service ou d'avoir une meilleure qualité de service (QoS). La norme IEEE 802.21, proposée en 2004 et standardisée en 2009 par le groupe IETF, est une solution incontournable pour la gestion du handover vertical. Cette norme a été conçue pour supporter l'interconnexion des différentes technologies d'accès : celles qui sont développées par IEEE (802.15, 802.11, 802.16) ou par 3GPP(GPRS, UMTS, LTE).

La norme IEEE 802.21 a défini trois phases essentielles qui interviennent dans le processus du handover vertical. Il s'agit de la phase de la découverte dans laquelle le terminal mobile détecte les points d'accès auxquels il peut être attaché. La deuxième phase concerne la sélection du réseau, elle consiste à utiliser les différents paramètres collectés dans la première phase afin de déterminer la meilleure interface réseau. L'exécution du handover intervient comme la troisième phase qui permet au terminal mobile d'établir la liaison physique avec le nouveau réseau en utilisant le protocole mobile IP.

Cependant, les trois phases définies par la norme IEEE 802.21 représentent uniquement la démarche qu'il faut suivre dans le but de proposer une solution pour le choix du réseau optimal. Nous signalons dans ce cadre que la norme IEEE 802.21 ne spécifie ni les paramètres qu'il faut collecter dans la première phase ni l'algorithme de la décision qu'il faut implémenter dans la deuxième phase. Finalement, il y a absence de spécification du protocole de mobilité qu'il faut utiliser dans la troisième phase. Par conséquent et pour toutes ces raisons, le handover vertical représente un axe de recherche ouvert.

Dans notre thèse nous avons traité la problématique de la sélection du réseau qui est un facteur déterminant et décisif dans le processus du handover vertical. En effet, la sélection de la meilleure interface réseau est un problème NP-difficile parce que cette phase doit prendre en considération plusieurs critères pour déterminer le meilleur réseau d'accès. L'ensemble de ces critères peuvent être regroupés de la manière suivante :

- Critères relatifs au réseau/interface : ils représentent les informations liées aux caractéristiques de réseaux d'accès disponibles. Parmi ces métriques, nous citons la couverture réseau, la puissance de signal (RSS), la bande passante, le coût, les caractéristiques de l'interface (consommation d'énergie, niveau de sécurité), etc.
- Critères relatifs au terminal : ce sont des informations relatives au terminal. Par exemple la vitesse, la batterie, les informations de localisation, etc.
- Critères relatifs à l'utilisateur : ces paramètres concernent des informations relatives au profil d'utilisateur et ses préférences. Ils regroupent : le réseau préféré, l'ordre de priorité de l'application, coût préféré, etc.
- Critères relatifs aux services : ils regroupent des métriques liées aux services telles que la QoS exigée par l'application, services potentiels, etc.

Différentes approches et stratégies sont proposées dans la littérature pour résoudre le problème de la sélection du réseau dans un environnement hétérogène. Nous citons la logique floue, les algorithmes génétiques, les réseaux de neurones artificiels, la théorie de jeux, la fonction de coût, la fonction d'utilité, les méthodes d'aide à la décision multi-attributs (MADM), etc. En raison de la nature du problème de la sélection de réseau, nous avons abordé cette problématique en utilisant les méthodes MADM. L'objectif fondamental de ces méthodes consiste à évaluer plusieurs alternatives selon plusieurs critères conflictuels dans le but de déterminer la solution optimale parmi plusieurs solutions possibles.

La conception d'une architecture pour le handover vertical en utilisant l'approche MADM repose sur les quatre phases suivantes :

1. Identifier les critères : cette phase a pour rôle de spécifier les critères de la sélection dont il faut tenir compte dans la phase de décision ;
2. Normaliser les critères : cette phase permet d'unifier les différents critères afin d'effectuer une comparaison entre eux. Parmi les techniques de normalisation nous citons Max-Min, Euclidienne, etc.
3. Pondérer les critères : Déterminer le poids pour chaque critère : dans cette phase, les décideurs expriment

leur préférences entre les critères par la pondération ou le poids relatif qu'ils attribuent à chaque critère.

4. Classer les alternatives : cette étape consiste à appliquer un algorithme pour classer les alternatives réseaux.

Au cours de ces dernières années, plusieurs travaux de recherche ont utilisé les méthodes MADM pour étudier et modéliser le handover vertical. Parmi les méthodes MADM qui sont développées et modifiées pour ce but, on peut citer : AHP (Analytic Hierachy Process), ANP (Analytic Network Process) , SAW (Simple Additive Weighting), MEW (Multiplicative Exponent Weighting), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), and GRA (Grey relational Analysis), etc. Malgré la littérature abondante, l'étude que nous avons menée sur l'ensemble de ces algorithmes nous a montré leur insuffisance pour résoudre notre problématique. En effet, l'approche MADM possède plusieurs limites qui sont regroupées en deux catégories. La première catégorie contient des limites relatives aux algorithmes MADM destinés à la pondération de critères, tandis que la deuxième représente des inconvénients relatifs aux algorithmes de classement.

Ainsi, afin de remédier aux différentes limites concernant les deux catégories de l'approche MADM, il nous a fallu concevoir et développer une nouvelle architecture pour la sélection de la meilleure interface réseau. L'ensemble des contributions que nous avons proposées et développées pour la mise en place de cette architecture sont détaillées ci-dessous.

4.2 Développement d'une nouvelle architecture pour l'optimisation de la sélection du réseau

4.2.1 Mise en place d'une nouvelle architecture pour sélection du réseau

Afin de surmonter toutes les limites des algorithmes du handover qui sont basés sur l'approche MADM, nous avons proposé et développé une nouvelle architecture pour la sélection du réseau. Le noyau cette architecture est exploré dans la figure 4.1. L'avantage de cette architecture modulaire réside dans la simplicité de l'intégrer dans le protocole IEEE 802.21.

De plus, cette architecture contient deux modules qui reposent sur l'approche MADM. Le premier module est un nouveau système de pondération capable de surmonter les inconvénients des méthodes classiques de pondération. Ce module a l'avantage de prendre en considération l'hétérogénéité des critères. Il est constitué de deux systèmes de pondération : le premier système est désigné pour la pondération inter-classes et le second système sert pour la pondération intra-classes. L'homogénéité des critères est assurée par deux propriétés qui sont d'une part, la même unité de mesure pour les critères et d'autre part, la corrélation entre eux. Après avoir regroupé les critères homogènes dans la même classe, le système de pondération intra-classes est appliqué pour calculer le poids de chaque critère de cette classe en utilisant la méthode AHP floue. Ensuite, le système inter-classes est utilisé pour fournir le degré d'importance relatif à chaque classe en utilisant aussi la méthode AHP floue. Enfin, la multiplication de deux vecteurs de poids générés par les deux systèmes permet de fournir le degré d'importance relatif à chaque critère.

Pour le deuxième module, nous avons proposé une nouvelle méthode MADM pour classer les alternatives réseaux. Cette nouvelle méthode MADM repose sur la distance de Mahalanobis. Vu les avantages fournis par cette distance, ainsi que notre motivation de surmonter le problème de l'anomalie du classement dû à l'utilisation des algorithmes classiques, nous avons introduit l'algorithme de Mahalanobis pour construire une nouvelle

4.2. DÉVELOPEMENT D'UNE NOUVELLE ARCHITECTURE POUR L'OPTIMISATION DE LA SÉLECTION DU RÉSEAU

méthode MADM pour classer les alternatives. Les résultats des simulations que nous avons effectuées pour les quatre types de services, ont montré que notre architecture a réduit davantage l'anomalie du classement et le nombre du handoffs par rapport aux trois algorithmes les plus répandus TOPSIS, GRA et DIA.

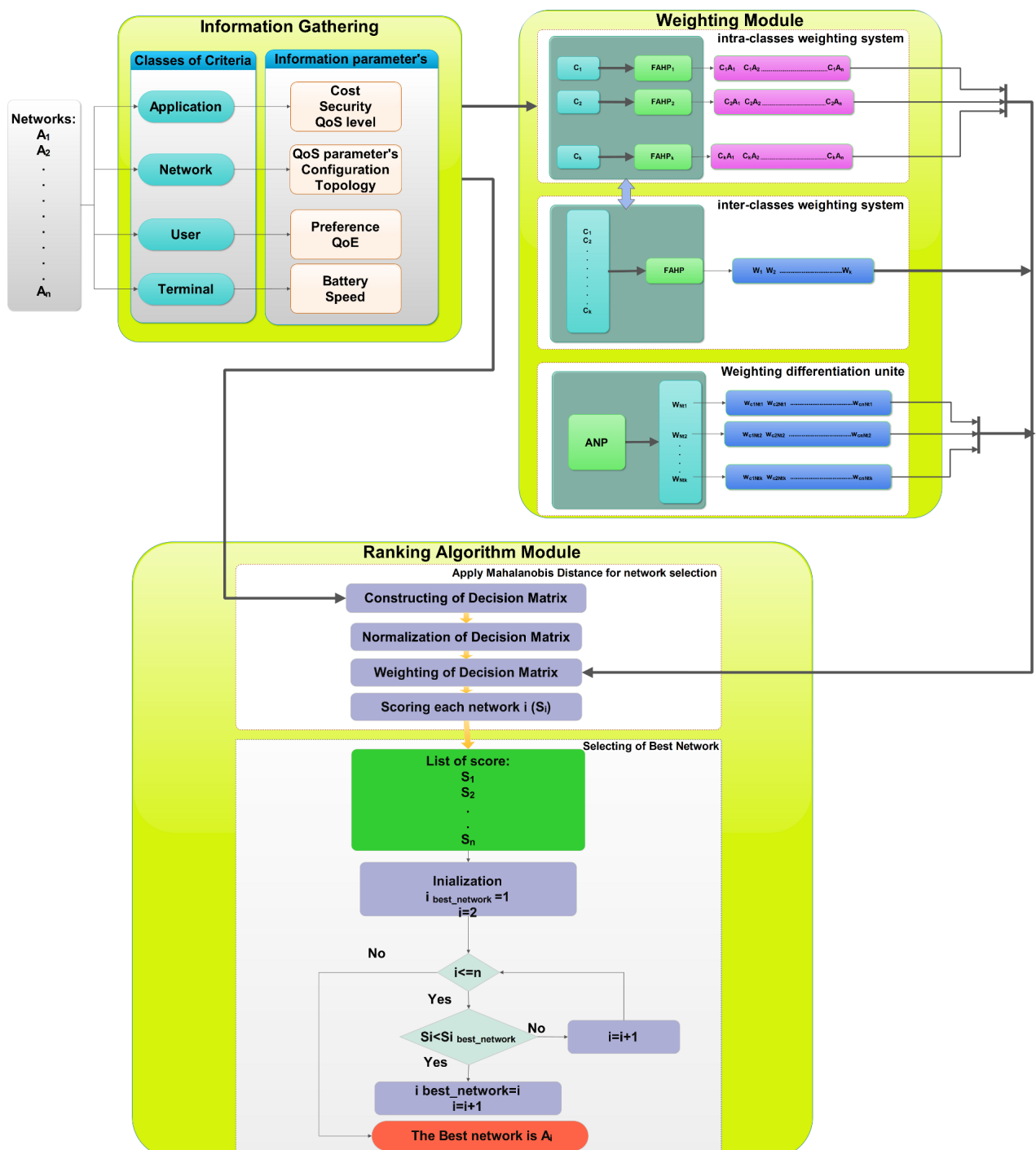


FIG. 4.1 – Notre architecture proposée et développée pour la sélection du réseau

4.2.2 Une nouvelle approche pour la validation de la sélection du réseau basée sur G-MADM

Dans cette contribution, nous avons développé une nouvelle approche de validation des algorithmes du handover en utilisant la théorie de la prise de décision collective. Cette solution proposée a pour but de déterminer la méthode de pondération adéquate qu'il faut coupler avec n'importe quel algorithme de classement en fonction du type de flux. Nous avons appliqué cette approche de validation dans le cadre de notre architecture afin de valider le choix de la méthode de pondération dans le module de pondération de notre architecture. Les résultats des différentes simulations effectuées à travers l'approche de la validation ont montré que la méthode ANP est la plus adéquate pour le module de pondération que la méthode AHP floue.

4.2.3 Une nouvelle unité de la différenciation de poids pour améliorer notre architecture

Dans cette contribution, nous avons proposé une solution pour remédier à une autre faiblesse des méthodes classiques de pondération. Ces algorithmes attribuent des poids aux différents critères indépendamment de la technologie réseau. Par conséquent, on trouve le même vecteur de poids pour toutes les technologies réseaux. Ce qui influence la performance de l'algorithme de la sélection du réseau. Afin de pallier ce problème nous avons intégré une nouvelle unité de différenciation de poids au niveau du module de pondération de notre architecture. L'avantage majeur de cette unité est de calculer le degré d'importance relative à chaque critère en fonction de l'interface réseau. Les simulations effectuées ont prouvé l'utilité de développer cette nouvelle unité.

4.2.4 Un nouveau modèle efficace pour l'évaluation de performances du handover

Après avoir développé et amélioré notre architecture qui permet à l'utilisateur mobile de choisir la meilleure technologie, nous avons pensé à valider cette architecture en terme de performance par rapport aux autres solutions existantes. Pour ce faire, nous avons analysé en premier temps, les différents modèles d'évaluation existants. Ensuite, à l'issue de cette analyse nous avons développé notre modèle d'évaluation évolutif qui repose sur l'approche MADM et l'analyse de criticité. L'apport de notre modèle proposé, réside dans l'introduction de la méthode ANP pour calculer le poids de chaque paramètre d'évaluation. Finalement, nous avons appliqué ce modèle évolutif pour évaluer et comparer les performances de notre algorithme par rapport aux autres méthodes de la sélection du réseau : E-TOPSIS, TOPSIS, GRA, DIA, SAW et MEW. Les simulations effectuées nous a permis à conclure que pour tous les types de flux, notre architecture est capable d'assurer de meilleures performances en termes d'anomalie de classement et de nombre de handoffs par rapport aux autres algorithmes existants. Par conséquent, nous avons affirmé que notre architecture proposée est prometteuse pour optimiser le problème du handover vertical.

4.3 Conclusion

Les travaux de notre sujet de thèse s'inscrivent dans le cadre d'optimisation et d'évaluation des performances du handover vertical dans un environnement réseaux sans fil hétérogènes. En effet, le secteur des télécommunications a connu des évolutions profondes avec le développement des nouvelles technologies d'accès

comme WIFI, UMTS, WIMAX et LTE. En parallèle, les terminaux mobiles ont connu une véritable explosion à travers le développement d'une architecture multi-interfaces. Par conséquent, les utilisateurs ont l'opportunité de profiter de nombreuses applications telles que la vidéo-conférence, les jeux en ligne, la TV mobile, streaming, etc n'importe où et n'importe quand en utilisant n'importe quelle technologie d'accès. Cependant, la sélection de la meilleure technologie réseau en terme de la qualité de service qu'il faut utiliser reste une problématique NP-Hard qui n'est pas encore résolue d'une façon optimale.

Dans ce contexte, nous avons proposé une nouvelle architecture pour résoudre la problématique de la sélection du réseau. Cette architecture a été définie en deux modules qui sont basés sur l'approche MADM. Le premier module est un système de pondération efficace, capable de surmonter le problème de l'hétérogénéité de critères. Le second module de cette architecture, représente une nouvelle méthode MADM basée sur la distance de Mahalanobis que nous avons développée afin de classer les alternatives réseaux. Nous avons montré, à travers des simulations, l'avantage de notre architecture dans l'amélioration des performances en termes d'anomalie du classement et le nombre de handoffs par rapport aux trois algorithmes TOPSIS, GRA et DIA. Ensuite, en deuxième temps, nous avons développé une nouvelle approche de la validation qui se base sur l'approche MADM collective. L'avantage majeur de cette approche proposée réside dans sa capacité à déterminer la méthode de pondération adéquate qu'il faut combiner avec n'importe quel algorithme de classement en fonction du type de flux.

Dans la troisième contribution, nous avons proposé d'intégrer une nouvelle unité de la différenciation de poids au niveau du module de pondération de notre architecture. L'idée de base de cette unité est de calculer le poids de chaque critère en fonction de l'interface réseau. Les simulations que nous avons menées dans cette contribution ont effectivement montré les améliorations apportées par notre architecture pour réduire l'anomalie de classement, le nombre de handoffs et le nombre de handovers échoués. Enfin, le dernier axe de notre thèse s'articule autour de la problématique de l'évaluation des performances des algorithmes de la sélection du réseau. Pour cela, nous avons développé un nouveau modèle d'évaluation évolutif qui repose sur l'approche MADM et l'analyse de criticité. Les simulations effectuées à l'aide ce nouveau modèle nous a permis de conclure que pour tous les types de flux, notre architecture assure de meilleures performances en termes d'anomalie du classement et le nombre de handoffs par rapport aux autres algorithmes du handover.

ACTIVITÉS POST-DOCTORALES :

synthèse des activités de recherche

Sommaire

5.1	Axe de recherche 1 : Optimisation de la qualité de service dans les réseaux de la future génération	62
5.1.1	Contexte et objectifs	62
5.1.2	Méthode	63
5.1.3	Résultats	63
5.1.4	Encadrement doctoral	64
5.2	Axe de recherche 2 : Modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes	64
5.2.1	Contexte et objectifs	64
5.2.2	Méthode	65
5.2.3	Résultats	65
5.2.4	Encadrement doctoral	65
5.3	Axe de recherche 3 : Optimisation des risques bancaires	65
5.3.1	Contexte et objectifs	65
5.3.2	Méthode	66
5.3.3	Résultats	66
5.3.4	Encadrement doctoral	67

Après la soutenance de la thèse en Novembre 2013, nous avons eu la chance d’obtenir en Mars 2014, un poste de professeur de l’enseignement supérieur assistant à l’ENS de Casablanca. Dans ce chapitre, je présente brièvement une synthèse de nos trois grands axes de recherche réalisés au Laboratoire de Mathématiques et Applications (LMA) de ENSC. Pour chaque axe de recherche, nous présentons le contexte et les objectifs, notre contribution, nos résultats, et le lien aux encadrements doctoraux.

5.1 Axe de recherche 1 : Optimisation de la qualité de service dans les réseaux de la future génération

5.1.1 Contexte et objectifs

Comme nous l’avons déjà évoqué dans le chapitre 4, durant notre thèse nous avons appréhendé le problème d’optimisation de la qualité de service dans les réseaux de la future génération . Plus précisément, nous nous

5.1. AXE DE RECHERCHE 1 : OPTIMISATION DE LA QUALITÉ DE SERVICE DANS LES RÉSEAUX DE LA FUTURE GÉNÉRATION

sommes intéressés à l'optimisation de la QoS, durant le processus du handover vertical. Pour cela, Nous avons développé une nouvelle architecture de la sélection du réseau qui repose sur l'approche MADM. En parallèle, les travaux de recherche sur l'optimisation du processus de la sélection de réseau se sont intensifiés au cours des dernières années.

Dans ce cadre, de nombreux algorithmes ont été proposés et développés dans la littérature, afin d'optimiser la QoS durant le processus de la sélection du réseau. Ces algorithmes peuvent être regroupés en quatre catégories qui sont : les algorithmes conventionnels, les algorithmes basés sur l'intelligence artificielle, les algorithmes basés sur l'agrégation de paramètres et les algorithmes hybrides. La première catégorie, contient tous les algorithmes qui se basent sur un seul paramètre pour déterminer la meilleure interface. Parmi ces algorithmes, nous citons : les algorithmes basés sur la puissance de signal, les algorithmes basés sur la bande passante, les algorithmes basés sur la vitesse du terminal, les algorithmes basés sur la direction du terminal, et les algorithmes basés sur la consommation d'énergie. La deuxième catégorie des algorithmes, regroupe la logique floue, les réseaux de neurones, les algorithmes génétiques ainsi que la théorie de jeux. La troisième catégorie concernant les algorithmes basés sur l'agrégation de paramètres regroupe la fonction de coût, la fonction d'utilité et les algorithmes d'aide à la décision multi-attributs (MADM). La dernière catégorie des algorithmes hybrides, contient des méthodes qui combinent les différents algorithmes des autres groupes entre eux.

A l'issue de cette revue de la littérature que nous avons mené, nous avons constaté que l'hybridation de la fonction d'utilité et l'approche MADM permet de fournir de meilleures performances dans le contexte de la sélection du réseau. Cependant, la majorité de ces approches hybrides ne prennent pas en compte les exigences de chaque type d'application en terme de la QoS. En effet, lorsque nous appliquons la fonction utilité, ensuite nous introduisons les algorithmes MADM, les critères utilisés dans la matrice de décision sont directement liés aux réseaux et ne prennent pas en compte les exigences de la QoS en fonction de chaque type d'application. Dans cet axe de recherche, notre objectif consiste à surmonter cette limitation afin d'optimiser le processus de la sélection du réseau.

5.1.2 Méthode

Dans cet axe de recherche nous avons proposé une nouvelle contribution pour l'optimisation de la sélection du réseau. Cette nouvelle politique s'appuie la théorie d'utilité multi attributs (MAUT), l'algorithme NMMD (Novel Method based Mahalanobis Distance) et la méthode ANP (Analytic Network Process). D'abord la méthode MAUT est introduit pour construire la matrice d'utilité. Chaque élément de cette matrice est calculé en utilisant une fonction d'utilité exponentielle qui prend en considération le degré de satisfaction de l'utilisateur en fonction de chaque attribut. Ensuite, la méthode classique ANP est appliquée pour calculer le poids de chaque critère. Finalement l'algorithme NMMD est utilisé pour classer tous les réseaux disponibles.

5.1.3 Résultats

Les résultats de simulations ont montré que pour tous différents types de services, notre politique MAUT permet d'obtenir une meilleure performance concernant l'anomalie de classement, le nombre de handoffs et le nombre de handovers échoués par rapport aux trois algorithmes existants : l'algorithme NMMD, la fonction d'utilité et l'algorithme hybride qui combine l'algorithme NMMD et la fonction d'utilité.

5.1.4 Encadrement doctoral

Cet axe de recherche a motivé deux autres doctorants de notre université de s'inscrire en thèse en empruntant la même voie de recherche.

- Imane Mouâd MANSOURI, doctorant au laboratoire LIM, FST de Mohammedia.
- Imane CHATTTE, doctorante au laboratoire SSDIA, ENSET de Mohammedia.

En réalité, même si je ne suis pas un co-encadrant dans ces deux sujets de thèse, cela ne m'empêche pas de dispenser des conseils et donner aux encadrants effectifs.

En revanche, j'envisage de recruter un nouveau doctorant dans cet axe de recherche.

5.2 Axe de recherche 2 : Modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes

5.2.1 Contexte et objectifs

Depuis quelques décennies, nous assistons une forte évolution et déploiement des nouvelles technologies d'accès, telles que la 3G (troisième génération), 4G (quatrième génération) et 5G (cinquième génération). Ces différents systèmes de communication peuvent assurer plusieurs types d'applications telles que : l'accès aux réseaux sociaux (Facebook, Twitter), Google Maps, TV mobile, streaming, jeux en ligne, etc. En parallèle, les terminaux mobiles ont connu une véritable explosion à travers le développement d'une architecture multi-interfaces. Ces avancées technologiques ont bouleversé les modes et les usages de communication dans nos sociétés. De plus, l'interconnexion des différentes technologies d'accès a permis aux utilisateurs de se connecter à l'internet n'importe où, n'importe quand et en utilisant n'importe quelle technologie d'accès. D'ailleurs, de nombreux utilisateurs peuvent utiliser le même réseau d'accès en même temps. De ce fait, les ressources de ce réseau d'accès seront diminuées progressivement. Dans ce contexte, la gestion de mobilité qu'on appelle aussi la gestion du handover est devenue un enjeu plus important, surtout dans un environnement hétérogène sans fil dans lequel de nombreuses technologies d'accès peuvent cohabiter. L'objectif principal de la gestion de mobilité est de maintenir des informations sur la position des terminaux mobiles et de gérer leurs connexions lorsqu'ils se déplacent dans les zones de couverture permises par les réseaux.

Dans cette thématique de recherche, nous nous sommes plus spécifiquement penchés sur la modélisation de la mobilité verticale (handover vertical). Par définition, le processus du handover vertical est une opération de changement du point d'attachement dans un réseau d'accès (par exemple 3G) vers un autre point d'attachement différent (par exemple 4G) tout en gardant la continuité des services. Selon la revue de la littérature, plusieurs modèles mathématiques sont proposées et développés afin de modéliser le problème du handover vertical. Ces outils mathématiques peuvent être classifiés en six catégories qui sont : la logique floue, la théorie des jeux, la théorie des graphes, la chaîne de Markov, l'optimisation combinatoire, les algorithmes d'aide à la décision multi-attributs, la fonction de coût et la fonction d'utilité. Cependant, tous les travaux de recherche qui ont utilisé ces modèles mathématiques ne prennent pas en considération l'infrastructure existante. Autrement dit, toutes les références publiées, ont considéré que le terminal mobile ne choisit qu'une seule interface réseau durant le processus du handover vertical. Notre objectif consiste à proposer une nouvelle modélisation du handover vertical qui prend en considération l'infrastructure existante et qui gère d'une façon optimale les ressources de cet environnement hétérogène.

5.2.2 Méthode

Nous avons proposé une nouvelle stratégie appelée NMBDG (New Model Based on Dynamic k-partite Graph), pour modéliser et optimiser le problème du handover vertical. Notre stratégie consiste à introduire la théorie des graphes pour modéliser et construire un graphe k-parti qui représente l'infrastructure de chaque opérateur de télécommunications. Ensuite, après avoir construit le graphe k-parti, nous avons développé une nouvelle fonction du coût couplée avec la méthode AHP pour l'attribution de poids pour chaque arête. Enfin, nous avons appliqué l'algorithme de Dijkstra pour déterminer le meilleur chemin en terme de la QoS.

5.2.3 Résultats

Afin valider la stratégie proposée NMBDG, nous avons effectué deux expériences en temps réel pour évaluer la performance en utilisant l'émulateur Mininet. La performance est mesurée en termes de quatre indicateurs de la QoS qui sont : le débit, le taux de pertes, le délai et la gigue. Les résultats de la première expérience ont montré que notre schéma NMBDG permet de fournir de meilleures performances concernant les indicateurs de la QoS par rapport à l'algorithme traditionnel SMGVHO (static modeling graph for vertical handoff), tandis que les résultats obtenus dans la deuxième expérience ont montré que notre schéma NMBDG permet de garantir de meilleures performances en terme de la QoS par aux trois algorithmes existants : l'algorithme CVHO-RSS, l'algorithme CVHO-Bandwidth et l'algorithme VHO-Cost.

5.2.4 Encadrement doctoral

Cette thématique de recherche, a fait l'objet du sujet de thèse de M. Ayoub Essouiri (2017-2020), que nous avons co-encadré :

- **M. Ayoub Essouiri** : Modélisation et optimisation du handover vertical à base de la théorie des graphes dans un environnement réseaux hétérogènes, thèse en informatique (en cours).

5.3 Axe de recherche 3 : Optimisation des risques bancaires

5.3.1 Contexte et objectifs

Vu l'importance du secteur bancaire dans notre pays d'une part, et le développement considérable du canal Internet au cours de ces dernières années d'autre part, il est devenu primordial d'opter pour le E-banking. Quand on parle d'une stratégie E-banking, on parle non seulement d'une recommandation mais plutôt d'une obligation pour toute banque afin de maintenir sa position et d'accroître sa part de marché en satisfaisant ses clients. Toutefois, l'E-banking reste loin d'exploiter les possibilités technologiques offertes, vu que l'actuelle pratique se limite à des opérations bancaires simples sans exploitation des données collectées par les banques. Comme le souligne Christine Lejoux, journaliste financière aux Echos : "Salaire, propension à dépenser ou au contraire à épargner, entreprises préférées, etc. Les banques savent tout sur leurs clients, ou presque. Une mine d'or meilleure que jamais à exploiter". En fait, aucun autre organisme ou entreprise que la banque ne collecte autant de données sur ses clients. La collecte et l'analyse de ces données peuvent constituer un élément clé dans la prise de décision, en particulier dans le secteur bancaire. A la question sur la manière d'analyser ces données, la réponse est l'Intelligence Artificielle (IA) ou plus précisément l'apprentissage automatique.

CHAPITRE 5. ACTIVITÉS POST-DOCTORALES : SYNTHÈSE DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE

Les banques peuvent utiliser l'intelligence artificielle pour transformer l'expérience client en permettant des interactions client sans friction 24 heures sur 24. Les applications de l'IA ne se limitent pas seulement aux secteurs bancaires, mais elles peuvent être appliquées dans les autres services financiers. Dans certains cas, l'utilisation de l'intelligence artificielle est prouvée par le fait d'économiser le temps et l'argent aux entreprises. Le défi consiste à savoir comment construire un système intelligent qui est capable d'exploiter les données collectées par la banque, afin d'en extraire des informations pertinentes et personnalisées.

Les travaux de cet axe de recherche portent sur l'utilisation de l'apprentissage automatique dans le système bancaire. A cet effet, nous nous intéressons à quatre problématiques majeures qui menacent le système bancaire, il s'agit de :

- Améliorer la prise de décision en matière de prêt : en effet, avec l'utilisation des données personnelles des clients, nous pouvons développer un système intelligent qui permet de déterminer si un particulier ou une entreprise est solvable ou non.
- Réduire les risques relatifs aux fraudes à la carte bancaire : notre objectif consiste à mettre en place un système d'alerte intelligent pour la détection de transactions frauduleuses en utilisant les données de transaction.
- Réduire les coûts d'exploitation relatifs aux risques de liquidité : le problème de risque de liquidité est une menace financière dévastatrice pour les banques. En cas de sous-estimation ou de négligence, elle peut avoir des conséquences irrécouvrables. Notre objectif consiste à définir une méthode analytique qui puisse aider les gestionnaires de différentes banques à prendre des décisions pour minimiser le risque de liquidité.
- Réduire les risques de cas de faillite : comme pour toute entreprise, la faillite d'une banque se manifeste par la cessation de ses paiements. A ce stade, la banque doit être fermée et mise en liquidation. Une telle situation causerait un préjudice considérable aux clients de cette banque et plus généralement à l'ensemble de l'économie. Notre objectif consiste à mettre en place un modèle d'alerte précoce qui permet de classer les banques en "défaillance" ou "robuste".

Dans ce manuscrit, nous nous sommes intéressés à l'optimisation des risques en termes de l'approbation de crédit et la détection de fraude.

5.3.2 Méthode

Nous avons développé une architecture qui repose sur la classification des données en temps réel, afin d'améliorer la prise de la décision dans le système bancaire. Le premier modèle de cette architecture est un système de prédiction, capable d'améliorer la prise de décision concernant le problème de prêt de crédit. Tandis que le deuxième modèle est un système de prédiction capable de réduire les risques relatifs aux fraudes à la carte bancaire. Pour chaque modèle de cette architecture, nous avons utilisé le deep learning comme une nouvelle méthode de classification binaire.

5.3.3 Résultats

Les résultats expérimentaux obtenus ont montré que notre architecture basée sur l'apprentissage automatique profond permet d'assurer de meilleures performances par rapport aux autres techniques Linear SVM regression, Non Linear Auto Regression, Logistic Regression et NN Based Classification . A l'issue de ces ré-

sultats obtenus, nous pouvons confirmer que notre architecture proposée peut être utilisée par les établissements de prêt pour l'approbation du crédit en temps réel ainsi que pour la détection des transactions frauduleuses à la carte bancaire.

5.3.4 Encadrement doctoral

Cette thématique de recherche, a fait l'objet du sujet de thèse de M. Youness Abakarim (2016-2020), que nous avons co-encadré :

- **M. Youness Abakarim** : Mise en place d'une architecture cognitive pour E-banking, thèse en informatique (en cours).

Axe 1 : Optimisation de la qualité de service dans les réseaux de la future génération

Sommaire

6.1	Introduction	69
6.2	État de l'art et positionnement du problème	71
6.2.1	Les algorithmes du handover basés sur la fonction d'utilité	71
6.2.2	Les algorithmes du handover basés sur l'approche MADM	72
6.2.3	Les algorithmes hybrides du handover	72
6.3	La méthode de pondération ANP	73
6.4	Théorie de l'Utilité Multi-Attributs (MAUT)	76
6.5	Notre politique proposée basée sur le protocole IEEE 802.21	77
6.5.1	Module 1 : Initiation du handover	77
6.5.2	Module 2 : Décision du pré-handover	77
6.5.3	Module 3 : Décision du handover	78
6.6	Simulations et résultats	79
6.6.1	Scénario de simulation	79
6.6.2	La simulation 1	81
6.6.3	La simulation 2	82
6.6.4	La simulation 3	82
6.6.5	La mise en oeuvre industrielle du handover vertical : Brevet N US 8,565,744	83
6.7	Conclusion	84

Dans ce chapitre, je présente les travaux de recherche dédiés à l'optimisation de la qualité de service dans les réseaux de la future génération. Plus précisément, je me focalise sur l'optimisation la qualité de service dans le contexte du handover vertical. Je note que cette première thématique de recherche est une continuité de ma thèse, et que les résultats obtenus représentent presque de 70% de mes perspectives fixées lors la soutenance de la thèse.

Nous présentons dans la section 6.1 le contexte et la motivation concernant l'optimisation de la qualité de service dans le contexte du handover vertical. Dans la section 6.2, nous donnons un aperçu détaillé de l'état de d'art sur les principaux algorithmes de la sélection du réseau qui sont basés sur l'approche MADM, la fonction d'utilité ainsi que le couplage de ces deux approches. A l'issue de cet état d'art, nous allons proposer notre nouvelle politique du handover vertical qui repose sur la théorie de l'utilité multi-attributs dans la section 6.3. Nous présentons et nous analysons les résultats obtenus par les différentes simulations dans la section 6.4. Enfin, une conclusion et des perspectives seront fournies dans la section 6.5.

6.1 Introduction

La future génération des réseaux mobiles sans fil, représente un environnement hétérogène qui intègre une variété de générations de réseaux telles que la 3G (troisième génération), la 4G (quatrième génération) et la 5G (cinquième génération). Le système mobile 3G est conçu pour prendre en charge une large gamme de services, tels que l'accès Internet à haut débit, le téléchargement de fichiers (audio et vidéo) ou la visioconférence, avec un débit allant de 2 Mbit/s à 11 Mbit/s. La 3G regroupe deux familles de technologies, la première famille contient les réseaux cellulaires, tandis que la deuxième famille contient les réseaux sans fil. Dans le même contexte, les deux groupes 3GPP et IEEE ont été impliqués dans les travaux internationaux de standardisation respectivement les réseaux cellulaires et les réseaux sans fil.

En 2001, le groupe 3GPP a lancé la technologie UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) [1], comme étant le premier réseau cellulaire de la 3G. En outre, la technologie UMTS permet d'assurer un débit qui peut atteindre 2 Mbit/s. En 1999, le groupe IEEE 802 a lancé la technologie IEEE 802.11a (WiFi) [2] pour connecter des ordinateurs portables, des équipements de bureau, à un débit qui peut atteindre 11 Mbps. De plus, plusieurs variantes de standard ont été proposées, modifiées et ratifiées comme IEEE 802.11b, IEEE 802.11n et IEEE 802.11g. En revanche, le système mobile 4G est disponible sur tous les systèmes IP, il permet d'assurer un débit élevé avec une zone de couverture très large. Le système 4G intègre aussi les deux familles de technologies, des réseaux cellulaires tels que LTE (Long Term Evolution) et des réseaux sans fil tels que WiMAX (Wireless Interoperability for Microwave Access). En Décembre 2008, le 3GPP a lancé la technologie LTE [3] afin de réduire le délai d'accès au réseau et d'améliorer la qualité de service en utilisant un débit qui peut atteindre 300 Mbit/s. Le réseau WiMax (IEEE 802.16) [4] est spécifié par le groupe IEEE 802 en 2003. Le débit théorique du WiMAX est de l'ordre de 70 Mbits/s avec une portée de 50 kilomètres.

Dans cet environnement hétérogène, le déploiement de la technologie 3G et la technologie 4G est devenu une réalité pour les différents opérateurs de télécommunications, depuis la dernière décennie. Actuellement, il y a une forte demande des services multimédias à haut débit par le biais des réseaux 3G et 4G, malgré leurs limites en termes de couverture, de bande passante et de mobilité. Dans ce contexte, afin d'améliorer la qualité du service (QoS), d'assurer une grande mobilité et d'augmenter la bande passante, les entreprises de télécommunications ont investi dans le développement de la technologie 5G. D'ailleurs, les premiers débuts de la 5G ont récemment attiré l'attention. Par exemple, à l'occasion des Jeux Olympiques d'hiver de PyeongChang en 2018, un réseau 5G a été déployé pour faire des démonstrations. En 2019, un autre test a été réalisé afin de démontrer les possibilités offertes par la 5G à l'occasion d'un match de foot en Allemagne. Les premiers spectateurs ont pu profiter d'une application permettant d'afficher des informations contextuelles autour des joueurs, sur l'écran de leur smartphone. Avec l'émergence et le déploiement de cette nouvelle technologie d'ici la fin de l'année 2020 [5], l'industrie et les entreprises ont l'opportunité de changer leurs stratégies de gestion traditionnelle vers des modèles modernes de gestion basés sur la digitalisation. Cette transition a fait référence à un nouveau paradigme, appelé la transformation numérique ou digitale.

En effet, sur la base de la capacité du haut débit et de la mobilité élevée de la technologie 5G, la transformation digitale permet aux clients et aux différentes industries la capacité de partager des informations et des ressources, la capacité de collaborer davantage entre les différents acteurs de chaque industrie, la possibilité d'accélérer les activités commerciales et de renverser les modèles de gestion traditionnels. En parallèle, l'augmentation et l'évolution rapide des terminaux mobiles équipés de plusieurs interfaces radio, tels que iPhone,

CHAPITRE 6. AXE 1 : OPTIMISATION DE LA QUALITÉ DE SERVICE DANS LES RÉSEAUX DE LA FUTURE GÉNÉRATION

iPad, BlackBerry et Smart Phones, permettent aux utilisateurs de se déplacer sans coupure entre les différentes technologies disponibles à tout moment et n'importe où. Par exemple, l'utilisateur peut se déplacer d'un réseau 3G à un autre réseau 4G ou d'un réseau 4G à un autre réseau 5G. Ce processus de déplacement est appelé le handover vertical [6]. Par le biais de ce processus, les utilisateurs ont la possibilité de rester connectés à l'Internet, en profitant de différents services comme la voix IP, la navigation sur le Web et la vidéo avec une mobilité élevée. En général, lorsque l'utilisateur aura besoin de n'importe quel type de service, son terminal mobile peut sélectionner en même temps plusieurs technologies qui prennent en considération les exigences de la QoS concernant le service demandé.

Cependant, durant le processus du handover vertical, la sélection du réseau d'accès le plus approprié en respectant le paradigme "Always Best Connected" (ABC) [7] est devenue un défi important dans cet environnement hétérogène. Pour faire face à ce problème, la norme IEEE 802.21 [8] vise à choisir et à maintenir une connexion sans coupure pendant la phase de transition d'un réseau à un autre. Cette transition est assurée par l'utilisation de fonction de Media Independent handover (MIHF). La MIHF opère entre la couche liaison de données (L2) et la couche réseau (L3) du modèle OSI. De plus, elle fournit de nouveaux points d'accès aux services : SAPs (Service Access Point) pour faire le lien entre les couches inférieures (1 et 2) et les couches supérieures (3+). La MIH peut être divisé en trois phases : initiation, sélection, et exécution. Dans ce chapitre, nous abordons la deuxième phase de la fonction MIHF qui est la sélection du réseau. Notre objectif est le choix du meilleur réseau en fonction de multiples critères lorsque plusieurs réseaux d'accès sont disponibles. Pour cela, nous proposons une politique efficace pour la sélection du réseau, qui permet aux utilisateurs de choisir le réseau le plus adapté en termes de QoS parmi les réseaux disponibles.

Sur la base de l'architecture IEEE 802.21, de nombreux schémas et algorithmes ont été proposés et développés dans la littérature afin d'optimiser le problème de la sélection du réseau. Les auteurs Lahby et al. [6] ont classifié les algorithmes de la sélection du réseau en quatre catégories qui sont : les algorithmes conventionnels, les algorithmes basés sur l'intelligence artificielle, les algorithmes basés sur l'agrégation de paramètres et les algorithmes hybrides. La première catégorie, contient tous les algorithmes qui se basent sur un seul paramètre pour déterminer la meilleure interface. Parmi ces algorithmes, nous citons les algorithmes basés sur la puissance de signal, les algorithmes basés sur la bande passante, les algorithmes basés sur la vitesse du terminal, les algorithmes basés sur la direction du terminal, et les algorithmes basés sur la consommation d'énergie. Par exemple, dans la référence [9] les auteurs ont présenté un aperçu sur l'ensemble des algorithmes conventionnels qui sont basées sur la puissance de signal et la bande passante. La deuxième catégorie regroupe la logique floue, les réseaux de neurones, les algorithmes génétiques ainsi que la théorie des jeux. Par exemple dans la référence [10], les auteurs ont appliqué les réseaux de neurones afin d'optimiser le handover vertical. En outre, dans [11] les auteurs ont utilisé la logique floue pour déterminer le meilleur réseau. Dans la référence [12], l'algorithme génétique est utilisé pour optimiser le problème de la sélection du réseau. Enfin, les auteurs [13] ont proposé les différents types d'algorithmes qui reposent sur la théorie des jeux et qui peuvent être utilisés pour optimiser le problème de la sélection du réseau.

Dans la troisième catégorie des algorithmes basés sur l'agrégation de paramètres : on trouve la fonction de coût, la fonction d'utilité et les algorithmes d'aide à la décision multi-attributs (MADM). Par exemple, dans la référence [14], les auteurs ont proposé un aperçu sur l'ensemble des stratégies de la sélection du réseau qui sont basées sur la fonction d'utilité. Une autre revue de la littérature qui concerne cette fois l'approche MADM a été présenté dans la référence [15]. La dernière catégorie des algorithmes hybrides contient des méthodes

qui combinent les différents algorithmes des autres groupes entre eux. Par exemple, dans la référence [16], les auteurs ont proposé une méthode hybride basée sur la fonction d'utilité et la théorie des jeux. Un autre exemple dans la référence [17], les auteurs ont proposé une méthode hybride qui repose sur la logique floue et l'approche d'aide à la décision multi-attributs.

En nous basant sur cette revue de la littérature et sur notre expérience dans le domaine, nous pouvons confirmer que les deux approches : la fonction d'utilité et les algorithmes MADM sont largement utilisées dans la littérature pour modéliser et optimiser le problème de la sélection du réseau. En s'inspirant de ces deux approches, ce chapitre propose une nouvelle politique dédiée à la sélection du réseau qui introduit pour la première fois la théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT) [18]. Notre algorithme MADM appelé NNMD (Novel Method based on Mahalanobis Distance) [19] qu'on a proposé lors de notre thèse, représente le noyau de cette nouvelle politique du handover vertical.

6.2 État de l'art et positionnement du problème

Comme nous l'avons indiqué en introduction, dans cette section nous nous focalisons sur des travaux de recherche qui introduisent l'approche MADM, la fonction d'utilité ainsi que le couplage de ces deux approches dans le contexte du handover vertical.

6.2.1 Les algorithmes du handover basés sur la fonction d'utilité

La fonction d'utilité est un modèle mathématique qui décrit le niveau de satisfaction d'un décideur ou d'un objectif spécifique en fonction de plusieurs variables. Dans le contexte du handover vertical, cette fonction désigne le degré de satisfaction du terminal mobile par rapport à un ensemble de services offerts par le réseau cible. Les auteurs Lee et al. [20] ont proposé une fonction d'utilité afin d'optimiser le problème du handover vertical. Cette fonction est composée de plusieurs paramètres tels que : le signal à interférence plus bruit ratio (SINR), la bande passante, la charge de trafic et la vitesse du terminal mobile. La fonction d'utilité proposée adopte la formule de Shannon en tant qu'une fonction de QoS afin d'augmenter le débit.

Les auteurs Chen et al. [21], ont suggéré un algorithme pour le handover vertical entre deux réseaux hétérogènes WCDMA et WLAN. Plus précisément, la décision du handover est basée sur une fonction d'utilité pour déterminer le meilleur réseau d'accès tout en considérant les paramètres suivants : les exigences de chaque application en termes de la qualité de service, la mobilité d'utilisateurs et l'équilibrage de la charge de chaque réseau. Les résultats des simulations montrent que cet algorithme permet de minimiser le nombre de handoffs, réduire le taux de blocage du service et maximiser la bande passante.

Les auteurs [22] ont examiné trois modèles de la fonction d'utilité en fonction de trois applications différentes (voix, vidéo et web). Enfin dans [23], les auteurs ont proposé une nouvelle fonction d'utilité qui repose sur une fonction exponentielle et monotone. Les résultats numériques prouvent que la fonction d'utilité proposée permet de fournir une meilleure performance concernant la sélection du réseau par rapport aux fonctions d'utilité existantes.

6.2.2 Les algorithmes du handover basés sur l'approche MADM

En raison de la nature du problème du handover vertical, les méthodes MADM, représentent un outil mathématique efficace pour la prise de décision durant le processus de la sélection du réseau. Dans une revue de la littérature récente publiée dans [15], les auteurs ont présenté l'ensemble des algorithmes du handover qui reposent sur cette approche. La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) est l'une des méthodes MADM la plus utilisée pour pondérer les différents attributs dans le contexte de la sélection du handover. Tandis que plusieurs méthodes basées sur l'approche MADM comme SAW, MEW, TOPSIS, GRA, VIKOR, DIA, et ELECTRE sont appliquées pour classer les alternatives réseaux.

Dans les références [24] et [25], la méthode AHP est combinée avec la méthode SAW afin de déterminer le meilleur réseau. Les auteurs Karam et al. [26] et Escobar et al. [27] ont conçu une solution pour le handover vertical qui couple la méthode AHP avec la méthode MEW. Dans [28] et [29], les auteurs ont proposé une stratégie de la sélection du réseau qui repose sur les deux méthodes AHP et GRA. Tandis que dans les deux références [30] et [31] les auteurs ont proposé un mécanisme de la sélection du réseau qui combine la méthode AHP et la méthode TOPSIS.

Bien que la méthode AHP soit largement utilisée pour pondérer les critères de la sélection du réseau, cette méthode présente toujours des faiblesses. Pour cela, les deux méthodes AHP floue et ANP sont aussi utilisées dans le contexte du handover vertical. Dans la référence [19], les auteurs ont proposé une nouvelle stratégie pour la sélection du réseau appelée NNMD. Dans cette stratégie proposée, un nouvel algorithme de classement qui repose sur la distance de Mahalanobis a été utilisé pour ranger les alternatives réseaux. Tandis que la méthode AHP floue est appliquée pour attribuer des poids pour les différents critères. Les résultats des simulations montrent que la stratégie NNMD permet de fournir de meilleures performances par rapport aux méthodes SAW, MEW, TOPSIS et DIA. Les auteurs [32] ont développé un algorithme de la sélection de réseau en utilisant la méthode AHP floue pour attribuer les poids pour différents paramètres, et la méthode TOPSIS pour classer les alternatives réseaux.

Dans la référence [33], les auteurs ont proposé une amélioration de la méthode TOPSIS appelée E-TOPSIS pour la décision du handover. L'algorithme E-TOPSIS est couplé avec la méthode ANP afin de déterminer le meilleur réseau. Les résultats des simulations montrent que l'algorithme E-TOPSIS permet de minimiser le nombre de handoffs et l'anomalie de classement mieux que les MADM classiques. Enfin, les auteurs [34] ont proposé un algorithme de la sélection du réseau basé sur les deux méthodes ANP et GRA.

6.2.3 Les algorithmes hybrides du handover

D'après la revue de la littérature, la tendance actuelle montre que la plupart des auteurs préfèrent d'utiliser des algorithmes hybrides pour optimiser le problème de la sélection du réseau. Dans ce contexte, des algorithmes hybrides qui se basent sur l'approche MADM et la fonction d'utilité sont largement utilisés dans la littérature. Une stratégie intelligente de la sélection du réseau basée sur la fonction d'utilité et l'approche MADM est proposée dans [35]. La stratégie proposée peut aider les utilisateurs à choisir dynamiquement le réseau d'accès le plus approprié en éliminant l'effet ping-pong. Dans la première phase, les attributs du réseau liés à la qualité du service sont transformés en valeur d'utilité en utilisant la fonction d'utilité relative à chaque type d'application. Ensuite, ces valeurs sont utilisées pour construire la matrice de décision. Dans la deuxième phase de cette stratégie, l'approche MADM est appliquée pour classer tous les réseaux disponibles.

Les auteurs Li et al. [36] ont proposé une nouvelle approche pour la sélection de réseau qui combine la fonction d'utilité et la méthode AHP. La fonction d'utilité est introduit dans cette stratégie pour représenter les exigences de chaque application en termes de QoS et aussi pour calculer l'état des ressources de chaque réseau candidat. Tandis que que la méthode AHP est appliquée pour classer les alternatives réseaux en fonction de la QoS de l'application et des attributs relatifs au réseau.

Les auteurs Phuoc et al. [37] ont développé un nouveau schéma de la sélection du réseau basé sur la fonction d'utilité et l'algorithme DIA. Dans ce schéma, chaque interface réseau est associée à une fonction d'utilité. Cette fonction prend en considération les exigences d'application en termes de la qualité de service, et la consommation d'énergie au niveau du terminal. Ensuite, l'algorithme DiA est utilisé pour classer les réseaux d'accès en fonction des valeurs d'utilités et des attributs relatifs au réseau. Dans la référence [38], les auteurs ont proposé un modèle optimal pour la sélection du réseau basé sur la fonction d'utilité et la méthode AHP floue (FAHP). Dans un premier temps, la fonction d'utilité est utilisée pour modéliser les différents critères tels que : la bande passante, le délai, la gigue, la perte, et les préférences d'utilisateur. Ensuite, une nouvelle technique d'optimisation non linéaire floue qui repose sur la méthode AHP est appliquée pour pondérer les différents critères de la sélection. Finalement, les trois algorithmes SAW, MEW et TOPSIS sont utilisés pour calculer les scores et classer les réseaux disponibles. Afin de garantir une solution optimale pour le problème de la sélection du réseau, dans les deux références [39] et [40] les auteurs ont combiné la fonction d'utilité, respectivement avec l'algorithme TOPSIS et l'algorithme E-TOPSIS. Les résultats des simulations ont montré que les deux approches hybrides permettent d'assurer de meilleures performances en termes de l'anomalie de classement, le nombre de handoffs et le nombre de handover échoués par rapport aux deux approches : la fonction d'utilité et les méthodes MADM.

En se basant sur cette revue de la littérature, il est clair que l'hybridation de la fonction d'utilité et l'approche MADM permet de fournir de meilleures performances dans le contexte de la sélection du réseau. Cependant, la majorité de ces approches hybrides ne prennent pas en compte les exigences de chaque type d'application en termes de QoS. En effet, lorsque nous appliquons la fonction utilité, ensuite nous introduisons les algorithmes MADM, les critères utilisés dans la matrice de décision sont directement liés aux réseaux et ne prennent pas en compte les exigences de la QoS en fonction de chaque type d'application. Pour remédier à ce problème, nous proposons une nouvelle politique du handover vertical qui repose sur la théorie de l'utilité multi-attributs. De plus, l'algorithme NMMD sera le noyau de cette nouvelle politique du handover vertical.

6.3 La méthode de pondération ANP

Le processus d'analyse réseau (Analytic Network Process : ANP) est proposé par Saaty [41] pour généraliser la méthode AHP. En effet, la méthode ANP prend en considération les deux types de dépendances : la dépendance intérieure et la dépendance extérieure. La dépendance intérieure représente la relation de corrélation entre les éléments du même niveau hiérarchique. La dépendance extérieure se réfère à la relation entre les éléments de niveaux hiérarchiques différents.

Cependant, le problème de décision basé sur la méthode ANP est une structure réseau reflétant les interactions entre les divers éléments de même niveau hiérarchique ou non. La procédure pour utiliser la méthode ANP peut être résumée de la manière suivante :

1. Construire le modèle : Un problème est décomposé en réseau dans lequel les noeuds correspondent

CHAPITRE 6. AXE 1 : OPTIMISATION DE LA QUALITÉ DE SERVICE DANS LES RÉSEAUX DE LA FUTURE GÉNÉRATION

aux composants. Un composant permet de regrouper un ensemble d'éléments qui peuvent agir l'un sur l'autre. En outre, un composant peut agir sur un autre composant. Les relations qui reflètent les interactions entre les éléments qui appartiennent au même composant ou entre les composants eux mêmes, sont représentées par des arcs orientés. La figure 6.1 illustre un exemple de cette structure réseau.

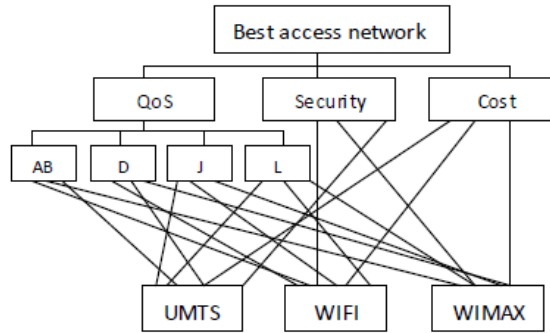


FIG. 6.1 – Structure réseau de la méthode ANP

2. Construire les matrices de décisions : cette étape consiste à procéder aux comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur. Cette étape permet de construire des matrices de comparaisons. Les valeurs de ces matrices sont obtenues par la transformation des jugements en valeurs numériques selon l'échelle de Saaty (Echelle de comparaisons binaires). La forme générale d'une matrice de décision est exprimée par :

$$A = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & \dots & x_{nn} \end{pmatrix} \text{ avec } x_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j; \\ \frac{1}{x_{ij}} & \text{si } i \neq j. \end{cases} \quad (6.1)$$

Les éléments x_{ij} sont obtenus à partir du tableau 6.1, qui contient les niveaux de préférences de 1-9.

TAB. 6.1 – Echelle à 9 valeurs de Saaty

Valeur numérique	Jugement verbal
1	Important égale
3	Modérément plus important
5	Fortement plus important
7	Très fortement plus important
9	Extrêmement plus important
2,4,6,8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements, utilisées pour affiner le jugement

3. Construire la matrice de décision normalisée : la matrice normalisée $A_{norm}(a_{ij})$ est obtenue à partir de la matrice $A(x_{ij})$, selon la formule suivante :

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (6.2)$$

$$A_{norm} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (6.3)$$

4. Déterminer l'importance relative à chaque élément : le poids de chaque facteur i peut être calculé par :

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n} \text{ and } \sum_{j=1}^n W_i = 1 \quad (6.4)$$

Où n représente le nombre des éléments comparés.

5. Vérifier la cohérence des jugements : pour tester la cohérence, Saaty [41] a introduit trois paramètres : le ratio de cohérence (RC), l'indice aléatoire (IA) et l'indice de cohérence (IC).

- On calcule d'abord, l'indice de cohérence IC.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6.5)$$

- Aussi, nous avons besoin de calculer λ_{max} en utilisant la formule suivante :

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n} \text{ sachant que } b_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j * a_{ij}}{W_i} \quad (6.6)$$

- On calcule le ratio de cohérence (RC) comme suit :

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (6.7)$$

Où IA est l'indice aléatoire obtenu à partir du tableau 6.2.

Selon Saaty [41], la valeur de ce dernier doit être au plus égale à 10%. Dans le cas où cette valeur dépasse 10%, les appréciations peuvent exiger certaines révisions, et la cohérence est dite non acceptée.

TAB. 6.2 – Valeur de l'indice aléatoire IA

Nombre de critères	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

6. Construire la matrice de décision globale : cette matrice est appelée aussi super-matrice (super-matrix), elle permet de calculer les poids pour toutes les alternatives. La super-matrice est une matrice en blocs dont chaque élément représente une matrice d'interdépendance entre deux clusters ou entre les éléments du même cluster. L'équation 2.28 représente une super-matrice S d'un système composé de m clusters C_1, C_2, \dots, C_m . Chaque cluster C_k contient n_k éléments qui sont notés $e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{kn_k}$. La matrice bloc S_{ij} contient une colonne de poids prioritaires qui représente l'impact de l'ensemble des éléments dans le cluster C_i sur chacun des éléments du cluster C_j .

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & \dots & S_{1m} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & \dots & S_{mm} \end{bmatrix} \text{ et } S_{ij} = \begin{bmatrix} e_{i_1(j_1)} & e_{i_1(j_2)} & \dots & \dots & e_{i_1(j_{n_j})} \\ e_{i_2(j_1)} & e_{i_2(j_2)} & \dots & \dots & e_{i_2(j_{n_j})} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{i_{n_i}(j_1)} & e_{i_{n_i}(j_2)} & \dots & \dots & e_{i_{n_i}(j_{n_j})} \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

6.4 Théorie de l'Utilité Multi-Attributs (MAUT)

Cette section s'intéresse au principe de fonctionnement d'une autre méthode d'aide à la décision multi attributs (MADM) appelée MAUT (Multi Attribut Utlity Theory).

6.4.0.1 Fondements de la méthode MAUT

La méthode MAUT (Multiple Attribute Utility Theory) est l'une des méthodes classiques de résolution de certains problèmes de décision multi-attributs MADM, développée vers la fin des années 60 par Ralph Keeney et Howard Raiffa [42]. Son principe consiste à mesurer l'utilité totale qui peut être tirée de chacune des alternatives, ensuite choisir une alternative qui maximise cette valeur d'utilité. Pour compléter la méthode MAUT, on doit introduire une fonction d'agrégation qui détermine l'utilité associée à chaque alternative, en utilisant les valeurs obtenues par les fonctions d'utilité partielles. Parmi les fonctions d'agrégation qui peuvent être appliquées, nous citons la somme pondérée et le produit pondéré. Dans ce chapitre nous utilisons une autre fonction d'agrégation qui repose sur la méthode NMMD.

Les étapes de la méthode MAUT se présentent comme suit :

1. Construire la matrice de décision D : cette matrice contient n lignes et m colonnes et elle est exprimée comme suit :

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & \dots & d_{1nm} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & \dots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & \dots & d_{nm} \end{pmatrix} \quad (6.9)$$

- Les lignes représentent la liste des alternatives $A = \{A_i, i = 1, 2, 3, \dots, n\}$
 - Les colonnes indiquent la liste des attributs $C = \{C_j, j = 1, 2, 3, \dots, m\}$
 - d_{ij} représente la performance de l'alternative A_i qui correspond au critère C_j
2. Construire la matrice d'utilité U : dans cette étape, les fonctions d'utilité sont utilisées pour convertir les valeurs numériques des attributs en une échelle d'unités d'utilitaire Pour chaque d_{ij} , on calcule sa valeur d'utilité en utilisant la formule suivante :

$$r_{ij} = f_i(d_{ij}) \quad (6.10)$$

Où $f_i(x_{ij})$ représente la valeur d'utilité de l'alternative i de l'attribut j , f_j est une fonction d'utilité qui exprime le degré de satisfaction de décideur concernant l'attribut j . On obtient la matrice d'utilité $U(u_{ij})$ définie par :

$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & \dots & u_{nm} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & \dots & u_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & \dots & u_{nm} \end{pmatrix} \quad (6.11)$$

3. Construction la matrice d'utilité pondérée V : la matrice pondérée $V(v_{ij})$ est obtenue à partir de la matrice d'utilité $U(u_{ij})$, selon la formule suivante :

$$v_{ij} = w_j * u_{ij} \text{ avec } \sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (6.12)$$

Donc, la matrice V sera exprimée par l'équation

$$V = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & \dots & v_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & \dots & v_{nm} \end{pmatrix} \quad (6.13)$$

4. Calculer le score global pour chaque alternative : dans cette étape, nous introduisons un fonction d'agrégation Ψ pour déterminer l'utilité globale d'une alternative A_i sur la base des valeurs obtenus dans la matrice V .

$$S_i = \Psi(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im}) \text{ avec } i = 1, \dots, n \quad (6.14)$$

5. Choisir la meilleure alternative : le choix de la meilleure solution est défini par la formule suivante :

$$MAUT^* = \max_{i=1}^n S_i \quad (6.15)$$

6.5 Notre politique proposée basée sur le protocole IEEE 802.21

Dans cette section, nous décrivons notre politique de sélection du réseau. La figure 6.2 montre l'idée de base de notre politique proposée pour optimiser la sélection du réseau. D'après cette figure, notre politique est constituée de trois modules suivants : le module d'initiation, le module de la décision du pré-handover et le module de la décision du handover. Chaque module prend en entrée les sorties du module précédent. Dans ce qui nous présentons le principe de chacun de modules constituant notre politique proposée.

6.5.1 Module 1 : Initiation du handover

Ce module est responsable à la phase de l'initiation du handover. Dans cette phase, le terminal mobile découvre les différents points d'accès auxquels il peut s'attacher. En plus, le terminal mobile collecte les informations spécifiques comme la qualité du signal, la disponibilité d'un autre canal pour identifier la nécessité du handover, etc.

6.5.2 Module 2 : Décision du pré-handover

Ce deuxième module intervient pour assurer les deux fonctionnalités suivantes : d'une part il permet la collecte des différentes mesures de chaque critère de la sélection. D'autre part, ce module introduit une fonction d'utilité pour quantifier le degré de satisfaction de l'utilisateur selon chaque critère. La modélisation mathématique de ces deux opérations est donnée ci-dessous :

1. Construire la matrice de décision : dans cette étape, la construction de la matrice de décision se fait de la même façon que l'équation 6.9.
2. Construire la matrice d'utilité : on reprend la même étape de l'équation 6.11 pour calculer la valeur d'utilité relative à chaque attribut. Pour cela, nous avons choisi la fonction d'utilité exponentielle afin de

construire la matrice. Selon la référence [36], cette fonction d'utilité est calculée comme suit :

$$\begin{cases} U(x) = \alpha * [\frac{1}{1+e^{-a(x-b)}} - \beta] \\ \alpha = (1 + e^{ab})/e^{ab} \\ \beta = \frac{1}{(1+e^{ab})} \end{cases} \quad (6.16)$$

- a représente la valeur minimale concernant un attribut C_j (pour $(j = 1, \dots, m)$) pour l'ensemble des alternatives, et $d_{ij}(x)$ représente la performance d'un attribut C_j relative à une alternative i
- b représente la valeur maximale concernant un attribut C_j (pour $(j = 1, \dots, m)$) pour l'ensemble des alternatives, et $d_{ij}(x)$ représente la performance d'un attribut C_j relative à une alternative i

6.5.3 Module 3 : Décision du handover

Ce troisième module est basé essentiellement sur la méthode NNMD pour classer les alternatives réseaux en utilisant la matrice d'utilité générée par le module 2. Les différents traitements effectués par ce module se déroulent en cinq phases suivantes :

1. Normaliser la matrice de décision : dans cette étape, on introduit la technique de normalisation par le maximum (max) pour unifier les unités de mesures de chaque élément u_{ij} . La valeur normalisée r_{ij} est calculée en fonction de type de critère comme suit :

- Pour un critère de bénéfice on obtient l'équation suivante :

$$r_{ij} = \frac{u_{ij}}{u_j^{max}} \quad (6.17)$$

- Pour un critère de coût on obtient l'équation suivante :

$$r_{ij} = 1 - \frac{u_{ij}}{u_j^{max}} \quad (6.18)$$

2. Pondérer la matrice de décision normalisée : on reprend la même étape de l'équation 6.13. De plus, on applique la méthode de pondération ANP pour construire la matrice pondérée V .
3. Calculer la distance de Mahalanobis pour chaque alternative A_i : cette valeur est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$D_M(A_i) = [D_{i1}, \dots, D_{im}] \quad (6.19)$$

Nous rappelons que la distance de Mahalanobis d'une série de valeurs de moyenne $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)^T$ est définie comme suit :

$$D_M(x) = (x - \mu)^T * S^{-1} * (x - \mu) \quad (6.20)$$

Avec S^{-1} : l'inverse de la matrice de covariance.

4. Calculer le score global pour chaque alternative A_i : dans cette étape, nous utilisons la moyenne arithmétique pour la valeur de score C_i . L'expression de ce score est donnée dans l'équation 3.9.

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^m D_{ij}}{m} \quad (6.21)$$

5. Classer les interfaces réseaux : les alternatives réseaux sont ordonnées en fonction des valeurs croissantes de C_i

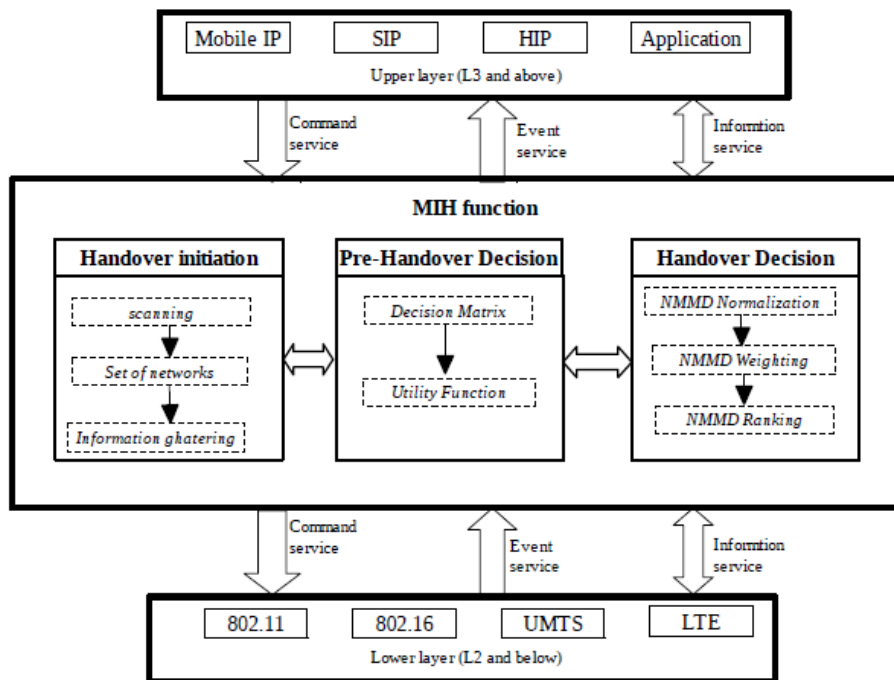


FIG. 6.2 – Notre politique du handover vertical en utilisant le protocole IEEE 802.21

6.6 Simulations et résultats

6.6.1 Scénario de simulation

Afin de valider notre politique proposée pour la sélection du réseau, nous comparons les résultats fournis par les quatre algorithmes suivants :

- NMMD : cet algorithme de la sélection du réseau repose sur l'approche NMMD proposée dans [19] pour choisir le meilleur réseau.
- Utility function : cet algorithme de la sélection du réseau repose sur la fonction d'utilité proposée dans [36] pour choisir le meilleur réseau.
- NMMD Based Utility : dans cet algorithme hybride, la méthode NMMD est couplée avec la fonction d'utilité afin de déterminer le meilleur réseau d'accès.
- Our Policy : cet algorithme de la sélection du réseau représente notre politique de la sélection du réseau qui repose sur la théorie de l'utilité multi attributs.

Nous effectuons trois simulations pour évaluer la performance en termes de l'anomalie de classement, le nombre de handoffs et le nombre de handover échoués. Pour chaque simulation nous allons évaluer les performances de ces quatre algorithmes dans 100 points de décision, en fonction de quatre types de flux : arrière-plan, conversationnel, interactif et streaming, en utilisant MATLAB.

Le scénario de simulation utilisé pour l'évaluation de performance de ces quatre algorithmes est illustré par la figure 6.3. Dans ce scénario, l'environnement réseau contient cinq technologies hétérogènes : WLAN1, WLAN2, UMTS, WIMAX et LTE. De plus, nous utilisons six attributs : la bande passante disponible (AB), la sécurité (S), le coût de service (CB), la gigue (J), le délai (D) et le taux de perte (L).

CHAPITRE 6. AXE 1 : OPTIMISATION DE LA QUALITÉ DE SERVICE DANS LES RÉSEAUX DE LA FUTURE GÉNÉRATION

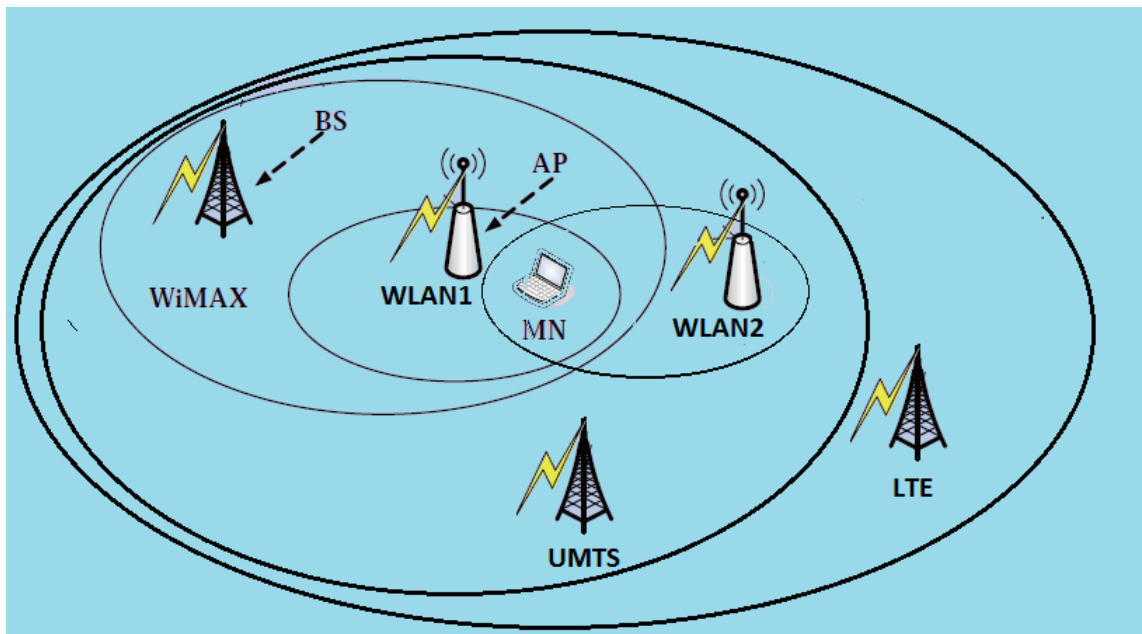


FIG. 6.3 – Scénario de simulation

Les différents valeurs de ces attributs sont présentés dans le tableau 6.3. Nous signalons que ces valeurs sont générées d’une façon aléatoire selon l’intervalle indiqué pour chaque attribut en fonction de chaque réseau. Les différentes valeurs de poids accordées à chaque critère selon la nature de service délivré à l’utilisateur en utilisant le méthode ANP sont présentés dans le tableau 6.4.

TAB. 6.3 – Performances des attributs pour les réseaux candidats

criteria network	CB (%)	S (%)	AB (mbps)	D (ms)	J (ms)	L (per 10⁶)
WLAN1	80	70	1-5	25-50	5-10	20-80
WLAN2	15	60	1-10	30-60	10-60	20-25
UMTS	60	70	0.1-2	25-50	5-10	20-80
WIMAX	40	60	1-60	60-100	3-10	20-80
LTE	55	70	1-100	60-100	3-10	20-80

TAB. 6.4 – Pondération des attributs en utilisant la méthode ANP

Traffic class	CB	S	AB	D	J	L
Arrière-plan	0.085	0.213	0.503	0.036	0.052	0.110
Conversational	0.085	0.213	0.148	0.222	0.243	0.089
Interactif	0.085	0.213	0.195	0.246	0.092	0.169
Streaming	0.085	0.213	0.408	0.035	0.135	0.124

6.6.2 La simulation 1

Dans cette première simulation, nous comparons la performance des méthodes suivantes : la méthode NMMD, la fonction d'utilité, la méthode hybride et notre politique basée sur l'approche MAUT, en fonction de l'anomalie de classement. La figure 6.4 représente le taux moyen de l'anomalie de classement pour ces quatre algorithmes en fonction de chaque type de service. Nous constatons que notre politique MAUT, permet de réduire cette anomalie avec des valeurs de 7%, 6.50%, 11.50% et 13.50% respectivement pour les services : arrière-plan, conversationnel, interactif, et streaming. En nous basant sur ces valeurs, nous pouvons déduire que notre politique fournit une meilleure performance concernant l'anomalie de classement par rapport aux autres algorithmes, pour les différents types de services.

D'une part, nous observons que la fonction d'utilité permet d'obtenir les valeurs de l'ordre de 27.50%, 36%, 26% et 45% respectivement pour les quatre types de flux arrière-plan, conversationnel, interactif et streaming. L'ensemble de ces valeurs sont supérieures à toutes les valeurs fournies par les autres algorithmes. Pour cela, cette méthode fournit la mauvaise performance de l'anomalie de classement. D'autre part, nous constatons que l'algorithme NMMD basé sur la fonction d'utilité fournit une meilleure performance par rapport aux deux algorithmes : la méthode NMMD, et la fonction d'utilité. Par conséquent, nous pouvons confirmer l'effet de combiner la fonction d'utilité avec la méthode NMMD sur minimisation de l'anomalie de classement. Enfin, nous pouvons déduire que notre politique MAUT qui introduit la fonction d'utilité avant l'algorithme NMMD, permet d'assurer une meilleure performance pour pallier l'anomalie de classement par rapport à l'algorithme hybride qui combine la fonction d'utilité après l'algorithme NMMD.

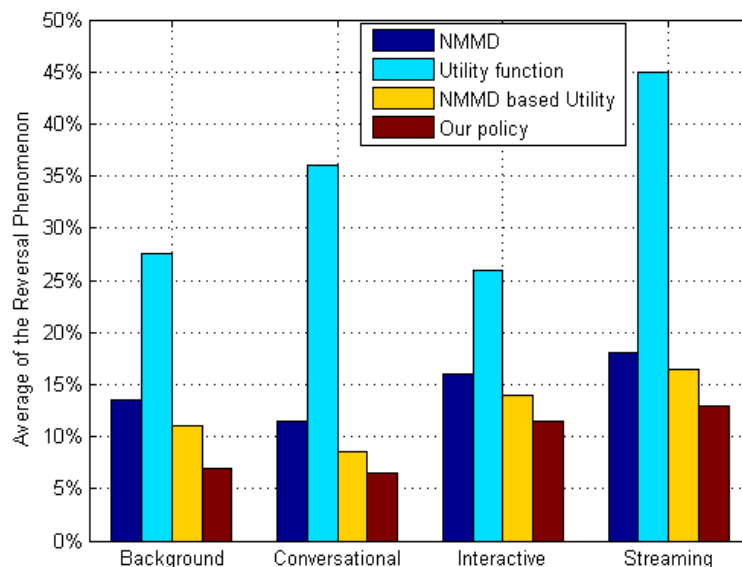


FIG. 6.4 – Variation de l'anomalie de classement des algorithmes en fonction de flux

CHAPITRE 6. AXE 1 : OPTIMISATION DE LA QUALITÉ DE SERVICE DANS LES RÉSEAUX DE LA FUTURE GÉNÉRATION

6.6.3 La simulation 2

Dans cette deuxième simulation, nous proposons d'analyser la performance de ces quatre algorithmes en termes du nombre de handoffs effectués. La figure 6.5 représente le taux moyen du nombre de handoffs réalisé par les différents algorithmes en fonction de chaque type de flux. Nous observons, que notre politique basée sur l'approche MAUT permet de minimiser ce paramètre avec les valeurs de 18.5%, 14%, 20.50% et 22%, respectivement pour les quatre services : arrière-plan, conversationnel, interactif, et streaming. Il est clair que ces valeurs fournies par notre politique sont les plus faibles par rapport aux autres méthodes. Par conséquent, nous pouvons déduire que notre politique assure la meilleure performance concernant le nombre de handoffs pour les différents types de flux.

Nous observons également que la fonction d'utilité fournit une valeur de 36.50% pour le flux arrière-plan, de 45% pour le flux conversationnel, de 34.5% pour le flux interactif et de 38.50% pour le flux streaming. En nous basant sur ces valeurs, nous pouvons déduire que la mauvaise performance de ce paramètre est donnée par la fonction d'utilité. La dernière remarque en ce qui concerne cette simulation est que la méthode hybride qui combine les deux algorithmes NMMD et la fonction d'utilité fournit une meilleure performance par rapport aux deux autres algorithmes NMMD et la fonction d'utilité. Pour cette raison, nous pouvons confirmer l'effet de combiner la fonction d'utilité avec la méthode NMMD sur la minimisation du nombre de handoffs effectués.

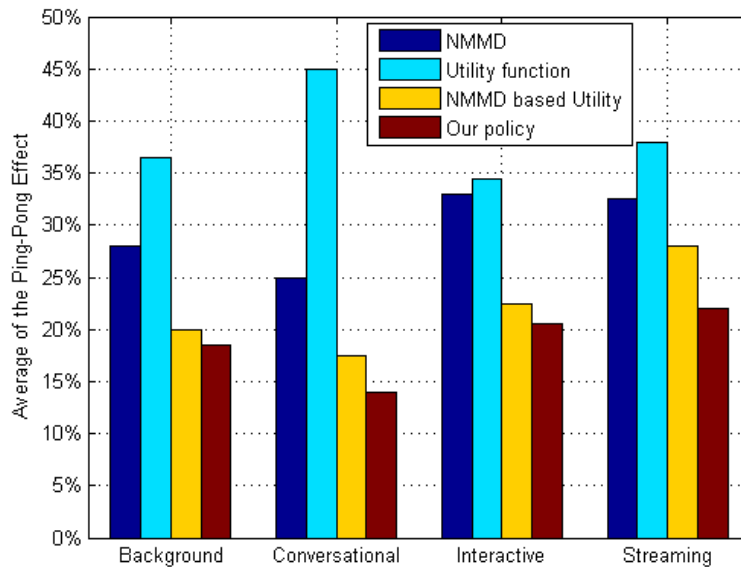


FIG. 6.5 – Variation de nombre de handoffs des algorithmes en fonction de flux

6.6.4 La simulation 3

Dans cette simulation, nous analysons la performance de ces quatre algorithmes par rapport au nombre de handovers échoués. La figure 6.6 montre le pourcentage de ce troisième paramètre d'évaluation réalisé par

les différents algorithmes en fonction de chaque type de flux. Nous remarquons que notre politique basée sur l'approche MAUT, réduit le risque d'avoir ce problème jusqu'à 20% pour le flux arrière-plan, de 17.5% pour le flux conversationnel, de 15% pour le flux interactif et de 18% pour le flux streaming. En nous basant sur ces valeurs, nous pouvons déduire que notre politique fournit une meilleure performance concernant le nombre de handovers échoués par rapport aux autres algorithmes pour les différents types de services.

D'une part, nous observons également que la fonction d'utilité réduit le risque d'avoir ce problème avec les valeurs de l'ordre de 35.5%, 37.5%, 30% et 28% respectivement, pour les quatre types de flux : arrière-plan, conversationnel, interactif et streaming. Ces valeurs sont supérieures à toutes les autres valeurs fournies par les autres algorithmes. Par conséquent, la fonction d'utilité fournit la mauvaise performance concernant le nombre de handovers échoués.

D'autre part, la méthode hybride qui combine la fonction d'utilité et la méthode NMMD permet d'assurer une meilleure performance en termes du handover échoué par rapport à ces deux dernières méthodes. Cette amélioration des résultats pour les différents types de flux est due à l'effet de combiner l'algorithme NMMD avec la fonction d'utilité. Enfin, nous pouvons conclure que l'utilisation de la fonction d'utilité avant l'algorithme NMMD (l'approche MAUT) permet de fournir une meilleure performance concernant ce paramètre par rapport à l'utilisation de la fonction d'utilité après l'algorithme NMMD algorithm.

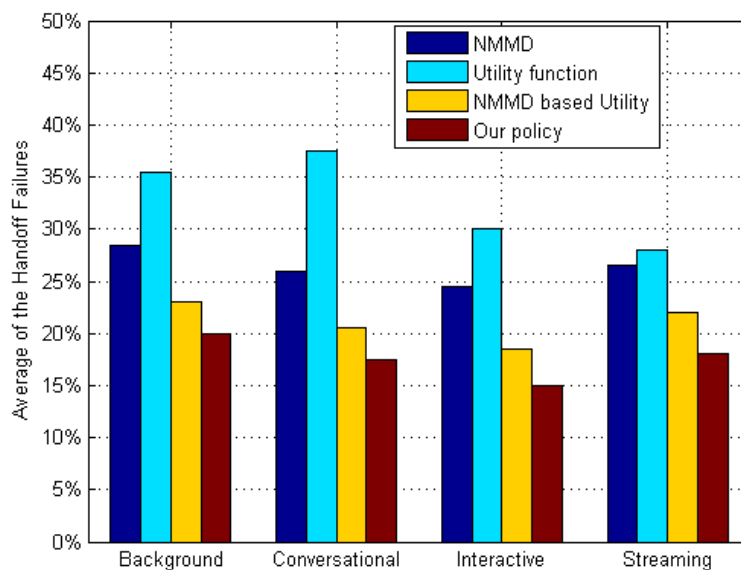


FIG. 6.6 – Variation de handovers échoués des algorithmes en fonction de flux

6.6.5 La mise en oeuvre industrielle du handover vertical : Brevet N US 8,565,744

Dans le secteur industriel et plus particulièrement en ce qui concerne les différents brevets réalisés pour modéliser et optimiser le problème du handover vertical, nous citons l'invention proposée par les auteurs Taaghoul et Gupta [190], (2013). Cette invention est une mesure composite de la qualité garantie par chaque réseau, qui permet de déterminer le meilleur réseau d'accès durant le processus du handover vertical. L'algorithme de

CHAPITRE 6. AXE 1 : OPTIMISATION DE LA QUALITÉ DE SERVICE DANS LES RÉSEAUX DE LA FUTURE GÉNÉRATION

la sélection de réseau mis en oeuvre dans cette invention composite est basé sur la fonction d'utilité. La fonction d'utilité $Q(t)$ associée à chaque réseau d'accès représente la somme d'une forme normalisée et pondérée d'ensemble des attributs. La forme de $Q(t)$ est exprimée par l'équation suivante :

$$Q(t) = \frac{w_1 * BER_t}{\sum_{j=1}^m BER_j} + \frac{w_2 * RSSI_t}{\sum_{j=1}^m RSSI_j} + \frac{w_3 * SIR_t}{\sum_{j=1}^m SIR_j} + \frac{w_4 * RTD_t}{\sum_{j=1}^m RTD_j} + \frac{w_5 * EBW_t}{\sum_{j=1}^m EBW_j} + \frac{w_6 * RTS_t}{\sum_{j=1}^m RTS_j} \quad (6.22)$$

BER_i , $RSSI_i$, SIR_i , RTD_i , EBW_i , et RTC_i représentent respectivement les critères : Bit error rate, Received signal strength indicator, Signal to interference ratio, Round trip delay, Effective bandwidth /throughput et Re-transmit rate (RTC). D'une part, w_1 , w_2 , w_3 , w_4 , w_5 , w_6 et w_7 sont les poids associés à chacun de ces différents critères. D'autre part, la valeur m indique le nombre des alternatives réseaux.

Selon les résultats de simulation présentés dans la sous-section précédente, nous remarquons que notre politique qui repose sur l'approche MAUT, permet de fournir de meilleures performances par rapport à la fonction d'utilité. En d'autres termes, notre politique proposée permet de garantir de meilleurs résultats que la fonction composite proposée dans le **Brevet N US 8,565,744**. Par conséquent, nous pouvons confirmer que notre politique est une solution prometteuse pour l'optimisation du handover et qu'elle peut faire l'objet d'une mise en oeuvre dans l'industrie.

6.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fourni une nouvelle contribution pour l'optimisation de la qualité de service dans le contexte du handover vertical. Cette nouvelle politique s'appuie sur la théorie d'utilité multi attributs (MAUT), l'algorithme NMMD et la méthode ANP. D'abord la méthode MAUT est introduite pour construire la matrice d'utilité. Chaque élément de cette matrice est calculé en utilisant une fonction d'utilité exponentielle qui prend en considération le degré de satisfaction de l'utilisateur en fonction de chaque attribut. Ensuite, la méthode de pondération ANP est appliquée pour calculer le poids de chaque critère. Finalement, l'algorithme NMMD est utilisé pour classer tous les réseaux disponibles.

Afin de mettre en évidence l'efficacité de notre politique proposée, nous avons effectué trois simulations en fonction de quatre types de flux. La première conclusion que nous pouvons tirer à partir des résultats fournis à travers ces simulations est que pour tous les quatre types d'applications, notre politique MAUT permet d'obtenir une meilleure performance concernant l'anomalie de classement, le nombre de handoffs et le nombre de handovers échoués par rapport aux trois algorithmes existants : l'algorithme NMMD, la fonction d'utilité et l'algorithme hybride.

Une deuxième conclusion importante est que la méthode hybride qui combine les deux algorithmes NMMD et la fonction d'utilité fournit de meilleures performances par rapport aux deux autres algorithmes NMMD et la fonction d'utilité. Pour cette raison, nous pouvons confirmer l'effet de combiner la fonction d'utilité avec la méthode NMMD sur l'amélioration des performances.

La dernière conclusion est que notre politique MAUT permet de garantir de meilleures performances que la fonction composite proposée dans le Brevet N US 8,565,744. Pour cela, notre politique peut faire l'objet d'une mise en oeuvre dans l'industrie.

Bibliographie

- [1] Javier, S., and Mamadou, T. UMTS : services, architecture et WCDMA, Lavoisier, 2001. (Cite en page 69.)
- [2] IEEE802.11. Standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements - part 11 : Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. (Revision of IEEE Std 802.11-1999) (2007), 1–1184. (Cite en page 69.)
- [3] Motorola. Long Term Evolution (LTE) : A Technical Overview, Technical White Paper, 2007. (Cite en page 69.)
- [4] IEEE802.16. Air interface for fixed broadband wireless access systems. Local and Metropolitan Area Networks, Part 16, (2004). (Cite en page 69.)
- [5] I-Scoop. 5G and IoT in 2018 and beyond : the mobile broadband future of IoT, [Available on line 14 Jan 2018], <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/5g-iot/>, 2018. (Cite en page 69.)
- [6] Lahby, M. (2013). Optimisation et évaluation des performances des communications mobiles dans un environnement réseaux multi-accès (Doctoral dissertation). (Cite en page 70.)
- [7] E. Gustafsson and A. Jonsson (2003). Always best connected. IEEE Wireless Communications Magazine, vol.10, no.1, 49-55. (Cite en page 70.)
- [8] K. Taniuchi et al (2009). IEEE 802.21 : Media Independent Handover : Features, Applicability, and Realization, IEEE Commun. Mag., vol. 47, no. 1, 112-120. (Cite en page 70.)
- [9] Yan, X., Ahmet Sekercioglu, Y., and Narayanan, S. A survey of vertical handover decision algorithms in fourth generation heterogeneous wireless networks. Computer Networks 54, 11 (2010), 1848–1863. (Cite en page 70.)
- [10] Mroue, M., Prevotct, J. C., Nouvel, F., & Mohanna, Y. (2018, July). A Neural Network Based Handover for Multi-RAT Heterogeneous Networks with Learning Agent. In 2018 13th International Symposium on Reconfigurable Communication-centric Systems-on-Chip (ReCoSoC'13), 1-6. (Cite en page 70.)
- [11] Coqueiro, T et al. (2019), A Fuzzy Logic System for Vertical Handover and Maximizing Battery Lifetime in Heterogeneous Wireless Multimedia Networks (Cite en page 70.)
- [12] Almutairi, A et al. (2018), A genetic algorithm approach for multi-attribute vertical handover decision making in wireless networks, Telecommunication systems 68(2), 151-161. (Cite en page 70.)
- [13] Trestian, R., Ormond, O., & Muntean, G. (2012). Game theory based network selection : Solutions and challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 14(4), 1212–1231. (Cite en page 70.)
- [14] N. VUONG, Q. Think, G.DOUDANE, A. Nazim (2008) , On utility models for access network selection in wireless heterogeneous networks. In IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS), 144-151. (Cite en page 70.)
- [15] E. OBAYIUWANA, et al (2016), Network selection in heterogeneous wireless networks using multi-criteria decision-making algorithms : a review, In Wireless Networks, 1-33. (Cite en pages 70 et 72.)
- [16] Munjal, M., & Singh, N. P. (2019). Utility aware network selection in small cell. Wireless Networks, 25(5), 2459-2472. (Cite en page 71.)
- [17] Kaur, R., & Mittal, S. (2019). Multi Criteria based Handoff using FAHP and Fuzzy Inference System. In International Conference on Data Science and Communication (IconDSC'2019), 1-5. (Cite en page 71.)
- [18] Keeney R, Raifa H. (1976), Decision with Multiobjectives, Preferences and Value Trade-Offs. Wiley, New York. (Cite en page 71.)
- [19] M. LAHBY, et al. (2013), A Novel Ranking Algorithm Based Network Selection For Heterogeneous Wireless Access, Journal of Networks, Vol. 8, no. 2, 263-272. (Cite en pages 71, 72 et 79.)
- [20] D. Lee, Y. Han and J. Hwang (2013) QoS Based Vertical Handoff Decision Algorithm in Heterogeneous Systems, In the Sixth Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 1-6. (Cite en page 71.)

- [21] Yung-Han Chen, Fang-Ching Ren (2007). A utility function-based access selection method for heterogeneous WCDMA and WLAN networks, In The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC07), 1-5. (Cite en page 71.)
- [22] P. Kosmides, et al. (2014) Utility-based RAT selection optimization in heterogeneous wireless networks, In Pervasive and Mobile Computing, vol. 12, pp. 92-111. (Cite en page 71.)
- [23] Khan, S., Ahmad, M. I., & Hussain, F. Exponential utility function based criteria for network selection in heterogeneous wireless networks, In Electronics Letters, 54(8), 529-531. (Cite en page 71.)
- [24] L. Sheng-Mei, et al. (2010), A simple additive weighting vertical handoff algorithm based on SINR and AHP for heterogeneous wireless networks, in Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), Vol. 1, 347-350. (Cite en page 72.)
- [25] J.L. DE Oliveira Filho, and E. Madeira (2011), A mechanism for vertical handover based on SAW using IEEE 802.21. In Mobile Networks and Management, Springer, 96-108. (Cite en page 72.)
- [26] Karam, F. and al. (2012), Performance analysis of ranking for QoS handover algorithm for selection of access network in heterogeneous wireless networks. In 21st International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), 1-6. (Cite en page 72.)
- [27] Escobar, L., and al. (2010), Vertical handoff algorithms a new approach for performance evaluation. In IEEE Globecom Workshop on Ubiquitous Computing and Networks, 1724-1728. (Cite en page 72.)
- [28] J. Fu, et al. (2010). Novel AHP and GRA Based Handover Decision Mechanism in Heterogeneous Wireless Networks. In Proc. CICLing (2), 213-220. (Cite en page 72.)
- [29] W. Yafang, C. Huimin, Z. Jinyan (2010). Network access selection algorithm based on the Analytic Hierarchy Process and Gray Relation Analysis. In Proc. New Trends in Information Science and Service Science, 503-506. (Cite en page 72.)
- [30] M. Lahby, C. Leghris, A. Adib (2011). A Hybrid Approach for Network Selection in Heterogeneous Multi-Access Environments. In the Proceedings of the 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 1-5. (Cite en page 72.)
- [31] A. Sgora, et al (2010). An access network selection algorithm for heterogeneous wireless environments. In Proceedings of The IEEE symposium on Computers and Communications, 890-892. (Cite en page 72.)
- [32] Sharaf, I. M. (2018). TOPSIS with similarity measure for MADM applied to network selection. Computational and Applied Mathematics, 37(4), 4104-4121. (Cite en page 72.)
- [33] M. LAHBY, et al. (2013), An Enhanced-TOPSIS Based Network Selection Technique for Next Generation Wireless Networks, In the Proceedings of the 20th International Conference on Telecommunications (ICT), pp. 1-5. (Cite en page 72.)
- [34] M. LAHBY, et al. (2012), Towards an efficient network selection technique based on differentiated weight of access interface, International Journal of Business Data Communications and Networking (IJBDCN), Vol. 8, no. 4, 32-48. (Cite en page 72.)
- [35] YU, Yifan, YONG, Bai, and LAN, Chen (2007), Utility-dependent network selection using MADM in heterogeneous wireless networks, In IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1-5. (Cite en page 72.)
- [36] Yuhong Li, X. Guo, Yisan Li, X. Zheng (2009), A utility-based network selection mechanism in heterogeneous wireless networks, in : Proc. International Conference on Wireless Networks and Information Systems, WNIS09, IEEE, Shanghai, 201-214. (Cite en pages 73, 78 et 79.)
- [37] N. Phuoc Tran and N. Boukhatem (2009), An utility based interface selection scheme for multi-homed mobile terminals, In Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 767-772. (Cite en page 73.)
- [38] Goyal, R. K., Kaushal, S., & Sangaiah, A. K. (2018). The utility based non-linear fuzzy AHP optimization model for network selection in heterogeneous wireless networks. Applied Soft Computing, 67, 800-811. (Cite en page 73.)
- [39] M. LAHBY, A. Sekkaki. (2017), Optimal Vertical Handover based on TOPSIS algorithm and Utility function In Heterogeneous Wireless Networks, In the Proceedings of the 4th International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), 1-5. (Cite en page 73.)

BIBLIOGRAPHIE

- [40] M. LAHBY, A. Attioui, A. Sekkaki (2017), An improved policy for network selection decision based on enhanced TOPSIS and utility function, In the Proceedings of the 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), pp. 2175-2180. (Cite en page 73.)
- [41] Saaty, T. Fundamentals of the analytic network process. In the Proceedings of the 5th International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Kobe, Japan (1999), 1–14. (Cite en pages 73 et 75.)
- [42] Huber, G. P. (1974). Multi-attribute utility models : A review of field and field-like studies. *Management Science*, 20(10), 1393-1402. (Cite en page 76.)

Axe 2 : Modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes

Sommaire

7.1	Introduction	90
7.2	La sélection du réseau basée sur la théorie des graphes : état de l'art	93
7.3	Modélisation et stratégie proposées pour le handover vertical	95
7.3.1	Structure d'un graphe k-parti	95
7.3.2	Déploiement réseau	96
7.3.3	Modélisation	97
7.3.4	Notre stratégie de la sélection du meilleur chemin	98
7.3.5	Élicitation de poids à l'aide de la méthode AHP	100
7.3.6	Complexité computationnelle de notre stratégie	100
7.4	Évaluation expérimentale	101
7.4.1	Environnement expérimentale	101
7.4.2	Les indicateurs de la qualité de service	103
7.4.3	Résultats expérimentaux	104
7.5	Conclusion	110

Cette thématique de recherche est la continuité et l'élargissement de nos travaux de recherche dans le domaine de réseaux et télécommunications. Nous nous sommes intéressés à la modélisation mathématique de la gestion de mobilité. Les travaux présentés dans ce chapitre sont principalement le fruit de collaboration avec le professeur A. Sekkaki dans le co-encadrement du doctorant Ayoub essouiri.

Nous commencerons par présenter dans la section 7.1 quelques généralités concernant la gestion de la mobilité, afin de poser notre problématique de recherche. Dans la section 7.2, nous présenterons l'état de l'art sur les principaux algorithmes basés sur la théorie des graphes qui sont développés pour optimiser la gestion de mobilité. Dans la section 7.3, nous allons présenter tout d'abord notre nouvelle modélisation pour le problème du handover vertical (mobilité verticale) qui repose sur un graphe k-parti. Ensuite, nous développons une nouvelle fonction de coût afin d'associer un degré d'importance pour chaque arête dans le graphe. Enfin, nous terminerons cette section par la présentation de notre stratégie qui repose sur l'algorithme de Dijkstra pour choisir le meilleur chemin en termes de QoS. Dans la section 7.4, nous donnons nos résultats expérimentaux. Dans la dernière section 7.5, nous concluons ce chapitre et nous explorons également certaines pistes de recherche.

7.1 Introduction

Ces dernières années, deux facteurs importants ont fortement accentué l'usage de l'internet mobile comme un nouveau paradigme pour se connecter à l'Internet. Le premier facteur s'explique par le fait que le secteur de l'industrie des télécommunications a développé des nouveaux systèmes mobiles sans fil, telles que la 3G (troisième génération), la 4G (quatrième génération) et la 5G (cinquième génération). Le deuxième facteur est du au développement rapide de nouveaux terminaux mobiles équipés de multiples interfaces réseaux. En revanche, la coexistence de différents points d'accès qui reposent sur les différentes technologies mobiles, construit un Environnement de Réseaux Sans fil Hétérogènes (ERSH). Dans ce ERSH, les deux systèmes de communications 3G et 4G sont devenus indispensables sur les terminaux mobiles d'utilisateurs pour fournir plusieurs types d'applications multimédias, comme les réseaux sociaux (Facebook, Twitter), Google Maps, TV mobile, streaming, jeux en ligne, etc. Par ailleurs, ces deux technologies évoluent continuellement pour assurer les besoins du futur paradigme de l'Internet du nombreuses applications, tel que Internet des véhicules (IoV), Internet des capteurs (IoS), Internet des énergies (IoE) et Internet des objets (IoT). En revanche, les déploiements de la technologie 5G sont attendus au début de l'année 2020 [1]. Ainsi, avec l'arrivée de cette nouvelle technologie, les utilisateurs peuvent avoir plusieurs types de services mobiles à haut débit et avec une forte mobilité.

L'environnement ERSH est formé de nombreuses zones géographiques hétérogènes. L'inconvénient majeur de chaque zone, réside dans le fait que il n'y a pas de technologie d'accès qui peut être considérée comme efficace en termes de qualité de service pour les utilisateurs à tout moment. Mais, l'avantage majeur de chaque zone, réside dans la complémentarité entre les différentes technologies installées, en termes des ressources telles que la couverture, la bande passante, et le coût de service. En outre, de nombreux utilisateurs peuvent utiliser le même réseau d'accès pour demander une application multimédia en même temps. De ce fait, les ressources de ce réseau d'accès seront diminuées progressivement. Pour cette raison, l'interconnexion des différentes technologies d'accès de cet environnement sans fil hétérogène est devenue nécessaire pour surmonter ces limitations. Cette interconnexion favorise la mobilité à l'utilisateur entre ces différentes technologies. En fait, à travers son terminal mobile multi-interfaces, l'utilisateur peut basculer d'une technologie à une autre technologie à l'aide du protocole de handover vertical [2]. Par conséquent, les utilisateurs peuvent bénéficier d'une meilleure qualité de service assurée par les différentes technologies d'accès, n'importe où, et n'importe quand par le biais de ce protocole.

Le protocole du handover vertical peut être divisé en trois phases :

1. La phase de découverte : dans cette phase le terminal collecte les informations spécifiques comme la qualité du signal, la disponibilité d'un autre canal pour identifier la nécessité du handover, etc. relatifs aux différents points d'attachement (PoA) auxquels il peut s'attacher.
2. La phase de sélection du réseau : dans cette phase le mobile doit effectuer pour déterminer la meilleure interface réseau en termes de QoS qui devrait être sélectionnée en se basant sur un algorithme de décision .
3. La phase d'exécution : elle consiste à établir la connexion avec le nouveau point d'attachement. Un protocole de mobilité (MIPv6) intervient pour allouer un nouveau lien radio et libérer l'ancien canal de communication.

Dans ce chapitre, nous nous focalisons sur la phase de la sélection du réseau. Notre objectif consiste à déterminer le meilleur réseau en termes de qualité de service, lorsque plusieurs réseaux d'accès sont disponibles [3]. Dans le même contexte, nous notons que le processus de la sélection de réseau prend en considération plusieurs critères afin de déterminer le meilleur réseau d'accès. L'ensemble de ces critères peuvent être regroupés de la manière suivante[4].

- Critères relatifs au réseau/interface : ils représentent les informations liées aux caractéristiques de réseaux d'accès disponibles. Parmi ces métriques, nous citons la couverture réseau, la puissance de signal (RSS), la bande passante, le coût, les caractéristiques de l'interface (consommation d'énergie, niveau de sécurité), etc.
- Critères relatifs au terminal : ce sont des informations liées au terminal mobile. Par exemple la vitesse, la batterie, les information de localisation, etc.
- Critères relatifs à l'utilisateur : ces paramètres concernent des informations liées au profil d'utilisateur et ses préférences. Ils regroupent : le réseau préféré, l'ordre de priorité de l'application, coût préféré, etc.
- Critères relatifs aux services : ils regroupent des métriques liées aux services telles que la QoS exigée par l'application, services potentiels, etc.

Au cours de ces dernières années, plusieurs articles de recherche ont été publiés pour modéliser et optimiser le problème de la sélection de réseau. Les auteurs Wang et al. [23] ont présenté une revue de la littérature sur l'ensemble des outils mathématiques qui peuvent être utilisés pour modéliser le problème de la sélection du réseau. Selon cette revue, ces outils mathématiques peuvent être classifiés en cinq catégories qui sont : la logique floue, la théorie des jeux, la chaîne de Markov (CM), l'optimisation combinatoire, les algorithmes d'Aide à la Décision Multi-Attributs (MADM), la Fonction de Coût (FC) et la Fonction d'Utilité (FU).

Dans le contexte de la sélection de réseau, la fonction d'utilité est utilisée pour décrire le degré de satisfaction du terminal mobile par rapport à un ensemble de services offerts par le réseau cible. Vuong et al. [6] ont proposé un aperçu sur l'ensemble des stratégies du handover vertical qui sont basées sur la fonction d'utilité. Dans la Réf. [7], les auteurs ont développé trois fonctions d'utilité en fonction de trois types de services : la voix, la vidéo et le web.

La fonction de coût [20] est également utilisée pour modéliser et optimiser le problème de la sélection du réseau. L'interface réseau qui se caractérise par le coût le plus minimal est considérée comme la meilleure. Hasswa et al. [9] ont proposé une nouvelle fonction de coût pour sélectionner le meilleur réseau d'accès, en combinant les six critères suivants : le coût de service, la consommation d'énergie, la sécurité, les préférences d'utilisateur, les conditions du réseau, la performance du réseau et la vitesse du terminal mobile.

De plus, dans la littérature récente, il y a un grand intérêt à l'application de la logique floue ([10], [11], [12], et [13]) dans le contexte de la sélection du réseau. Abbas et al. [12] ont utilisé la logique floue pour choisir le meilleur réseau entre 3G et WiFi. Les variables linguistiques utilisées comme entrée pour ce système flou sont : la puissance de signale et la bande passante pour les deux technologies.

Dans la littérature, la théorie des jeux discutée dans les Refs. [14], [15], et [16] est considéré comme un outil mathématique vital pour modéliser et optimiser le problème de sélection du réseau. Niyato et al. [14] ont exploré l'ensemble des algorithmes de la théorie des jeux qui sont utilisés dans la littérature pour modéliser le problème de la sélection du réseau.

En outre, les modèles de chaînes de Markov représentent un outil mathématique puissant pour la modélisation des problèmes de nature dynamique. Pour cela, plusieurs algorithmes basés sur cette approche Refs. [17], [18],

CHAPITRE 7. AXE 2 : MODÉLISATION DE LA GESTION DE MOBILITÉ DANS LES RÉSEAUX SANS FIL HÉTÉROGÈNES

[19], [20], et [21] sont publiés pour modéliser et optimiser le problème de la sélection du réseau. Dans ce contexte, Navarro et al. [17] ont proposé un algorithme de la sélection du réseau basé sur la chaîne de Markov dans l'objectif de maximiser la récompense totale lors du choix d'un nouveau point d'accès.

Grâce à leur simplicité et leur facilité d'implémentation, les méthodes d'aide à la décision multi-attributs (MADM) interviennent dans plusieurs travaux de recherche qui nécessitent une prise de décision. Pour cela, au cours de la dernière décennie, la majorité des travaux publiés dans la littérature ont introduit des algorithmes MADM pour modéliser le problème de la sélection du réseau. Dans les deux références [22] et [23], les auteurs ont fourni une revue de la littérature détaillée sur les algorithmes du handover basés sur l'approche MADM. D'après cette revue, il existe deux catégories des algorithmes MADM : (1) algorithmes de classement et (2) algorithmes de pondération. La première catégorie d'algorithmes qui sont utilisés pour classer différentes alternatives réseaux, contient les techniques suivantes : SAW (Simple Additive Weighting), MEW (Multiplicative Exponent Weighting), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), and GRA (Grey relational Analysis), Distance to Ideal Alternative (DIA), etc, alors que la deuxième catégorie des algorithmes de pondération qui sont utilisés pour attribuer des poids pour les critères, regroupe les méthodes suivantes : AHP (Analytic Hierarchy Process), ANP (Analytic Network Process), FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) et FANP (Fuzzy Analytic Network Process).

Dans la référence [24], les auteurs ont proposé une solution de la sélection du réseau qui combine les deux méthodes MADM, AHP et SAW. La méthode AHP est appliquée pour calculer le poids de chaque critère, tandis que la méthode SAW, qui représente le noyau de cette stratégie, permet de classer les alternatives réseaux. Karam et al. [25] ont proposé un algorithme de la sélection du réseau basé sur les deux méthodes AHP et MEW. Dans la première phase de cet algorithme, la méthode AHP est utilisée pour pondérer différents critères. Dans la deuxième étape, la méthode MEW, est appliquée pour classer les différents réseaux. Dans la même optique, Verma et al. [26] et Lahby et al. [27] ont proposé une solution pour le problème de la sélection du réseau en couplant les deux méthodes AHP et GRA. D'abord, l'approche AHP est appliquée pour attribuer des poids pour les différents critères. Dans la deuxième phase, la méthode GRA est utilisée choisir le meilleur réseau parmi les alternatives réseaux. Lahby et al. [28] et Senouci et al. [29] ont appliqué la méthode TOPSIS pour le problème de la sélection du réseau afin de classer les réseaux disponibles. Monish et al. [30] ont proposé un schéma basé sur les différentes méthodes MADM dans l'objectif de sélectionner le meilleur réseau d'accès pour les réseaux radio cognitifs corporels sans fil (WBANs). Les résultats des simulations, ont montré que toutes les méthodes MADM proposées ont permis de choisir le réseau LTE comme la meilleure interface réseau pour les différents types de services.

Enfin, plusieurs algorithmes hybrides sont proposés et développés dans la littérature afin de modéliser et optimiser le problème de la sélection du réseau. Dans la référence [31], les auteurs ont proposé une solution hybride qui combine la logique floue et l'approche MADM. Dans un premier temps, la logique floue est utilisée pour traiter les informations imprécises relatives aux quelques critères de décision et aussi aux préférences d'utilisateur. Alors que, dans la deuxième phase, l'approche MADM est appliquée pour classer les réseaux disponibles en fonction de leurs performances en termes de qualité de service, dans l'objectif de sélectionner le meilleur réseau disponible. Dans [32] et [33], les auteurs ont couplé l'algorithme génétique (GA) avec la logique floue afin de déterminer le meilleur réseau d'accès. Tran et al. [34] ont développé une nouvelle stratégie pour la sélection du réseau qui combine la fonction d'utilité et l'algorithme DIA. Dans la première étape de cette stratégie, la fonction d'utilité est associée à chaque interface réseau. Dans la deuxième étape, l'algorithme DIA est

7.2. LA SÉLECTION DU RÉSEAU BASÉE SUR LA THÉORIE DES GRAPHERS : ÉTAT DE L'ART

appliquée pour classer les différentes interfaces en construisant la matrice de décision à l'aide de la fonction d'utilité calculée dans la première phase, et les critères liés aux caractéristiques des réseaux disponibles.

Dans la référence [35], les auteurs ont combiné respectivement la fonction d'utilité avec la méthode TOPSIS et la méthode E- TOPSIS afin de déterminer le réseau optimal durant le processus de la sélection du réseau. Les résultats de la simulation ont montré que les deux algorithmes hybrides permettent d'assurer de meilleures performances concernant l'anomalie de classement, le nombre de handoffs, et le nombre de handovers échoués par rapport aux algorithmes suivants : la fonction d'utilité, la méthode TOPSIS et la méthode E-TOPSIS. Goyal et al. [36] ont proposé une nouvelle approche pour la sélection du réseau, basée sur la fonction d'utilité et la méthode AHP floue (FAHP). Dans la première étape, la fonction d'utilité est utilisée pour modéliser les différents critères : bande passante, délai, gigue, taux d'erreur et préférences d'utilisateur. Ensuite, dans la deuxième étape, une nouvelle méthode non linéaire basée sur la méthode AHP floue est appliquée pour pondérer d'une façon optimale chaque critère. Enfin, trois méthodes MADM telles que la méthode SAW, la méthode MEW et la méthode TOPSIS sont introduites pour calculer les scores relatifs à chaque réseau d'accès et pour choisir le meilleur réseau. Les résultats de différentes simulations ont montré que la méthode MEW couplée avec la fonction d'utilité fournit une meilleure performance que la méthode SAW et la méthode TOPSIS.

Goudarzi et al. [37] se sont concentrés sur l'optimisation du processus de la sélection du réseau en combinant les deux approches : Algorithme génétique (AG) et Chaîne de Markov (CM). Dans la première phase, l'algorithme génétique est utilisé pour trouver un ensemble de décisions optimales qui assurent le meilleur compromis entre les différentes qualités de services en fonction de leurs niveaux de priorité. Ensuite, la chaîne de Markov est appliquée pour modéliser le problème de la sélection du réseau, en assurant comme objectif la maximisation de la récompense totale attendue et la minimisation du nombre moyen de handoffs. Enfin, la méthode AHP est appliquée pour sélectionner le meilleur réseau.

Cependant, l'inconvénient majeur de toutes les références précédentes est que durant le processus de la sélection du réseau, le terminal mobile ne choisit qu'une seule interface réseau. Mais, en réalité l'infrastructure de chaque opérateur de télécommunications est déjà modélisée sous la forme d'un graphe [38]. En d'autres termes, lors du déploiement de différents points d'accès qui se basent sur les différentes technologies réseaux, l'opérateur de télécommunications doit prendre en compte le problème de l'assignation des fréquences dans les réseaux mobiles. Dans cette contribution, nous supposons que le déploiement des points d'accès est déjà fait par l'opérateur de télécommunications. Ce qui implique que le graphe G qui modélise cette infrastructure est déjà existant.

Du fait que cette infrastructure contient des objets hétérogènes (points d'accès, dispositifs, véhicules, etc.), nous proposons une nouvelle modélisation pour le problème de la sélection du réseau en utilisant la théorie des graphes. L'idée de base de cette nouvelle modélisation consiste à transformer le graphe existant, sous la forme d'un graphe k -parti. Ensuite, nous introduisons l'algorithme de Dijkstra couplé avec la fonction de coût pour choisir le meilleur chemin en termes de qualité de service.

7.2 La sélection du réseau basée sur la théorie des graphes : état de l'art

À notre connaissance, il n'y a que cinq références dans la littérature, à savoir les références [39], [40], [41], [42] et [43], qui ont introduit la théorie des graphes pour modéliser le problème de la sélection du réseau. Pour cela, nous sommes motivés à développer une nouvelle approche pour la sélection du réseau qui repose sur

CHAPITRE 7. AXE 2 : MODÉLISATION DE LA GESTION DE MOBILITÉ DANS LES RÉSEAUX SANS FIL HÉTÉROGÈNES

cette théorie. Dans ce qui suit, nous détaillerons chacune de ces références, afin d'identifier ses avantages et ses inconvénients.

Dans la référence [39], les auteurs ont proposé une nouvelle stratégie pour le problème de la sélection du réseau. La stratégie proposée est fondée sur la théorie des graphes afin de construire le graphe relatif à l'historique des communications, et déterminer le meilleur chemin entre tous les noeuds hétérogènes. En outre, cette solution, fournit de meilleurs résultats en termes de réduction de nombre de handoffs (ping-pong) et le nombre de handovers échoués. Malheureusement, la stratégie proposée présente au moins deux inconvénients majeurs : le premier inconvénient réside dans le coût de chaque arête qui utilise uniquement la puissance du signal reçu (RSS : Received Signal Strength). Le deuxième inconvénient est que les résultats de la simulation sont obtenus en utilisant le simulateur Matlab. Afin de surmonter les limitations de cette stratégie, Dekanovic et al. [40] ont proposé une solution hybride basée sur la théorie des graphes et la logique floue afin d'assurer le processus de la sélection du réseau entre les deux technologies hétérogènes LTE et WLAN. En premier temps, la théorie des graphes est appliquée pour modéliser le processus de la sélection du réseau. Ensuite, la logique floue est appliquée pour trouver le meilleur chemin durant le processus du handover. Les résultats des simulations ont montré que cette solution hybride a permis d'apporter une amélioration considérable en termes de réduction de nombre de handoffs (ping-pong). Le principal inconvénient de cette solution est lié à l'utilisation de l'outil Matlab pour évaluer les résultats de simulation.

Kobayashi et al. [41] ont modélisé le problème de la sélection du réseau par un graphe biparti et dynamique. Le graphe proposé est décomposé en deux ensembles de sommets disjoints et indépendants. Le premier ensemble représente les différents réseaux d'accès qui peuvent être utilisés lors du handover vertical, tandis que le second ensemble représente les utilisateurs mobiles. En outre, chaque arête correspond à des liaisons de communication potentielles. L'avantage de cette approche est que la topologie du réseau est modélisée par un graphe dynamique afin de prendre en compte l'aspect dynamique qui caractérise les utilisateurs. Malgré l'utilisation de la théorie des graphes pour modéliser la sélection du réseau, l'approche proposée garantit seulement le choix d'un seul réseau d'accès pour les utilisateurs mobiles.

Dans la référence [42], les auteurs ont proposé un mécanisme hybride fondé sur la théorie des jeux et la théorie des graphes pour assurer le paradigme "Always Best Connected" (ABC) dans les réseaux véhiculaires hétérogènes. Dans la première phase, la théorie des graphes est utilisée pour modéliser le système proposé. Dans la deuxième phase, la théorie des jeux est utilisée pour calculer le chemin approprié en fonction des caractéristiques de la technologie réseau installée dans les différentes arêtes qui constituent ce chemin. Cependant, le mécanisme proposé présente deux limitations : la première est que les auteurs ont supposé que la technologie d'accès est installée au niveau de chaque arête, tandis que la deuxième limitation est que l'évaluation de la performance de cette solution est implémentée sous le simulateur Matlab.

Dans notre récent travail [43], nous avons proposé une solution efficace appelée SMGVHO (Static Modeling Graph for Vertical Handoff), destinée à déterminer le meilleur chemin en termes de qualité de service durant le processus de la sélection du réseau. La solution proposée repose sur la théorie des graphes et la fonction de coût. Dans la première phase de cette solution, la théorie des graphes est utilisée pour modéliser le problème de la sélection du réseau, alors que la fonction de coût est appliquée pour attribuer le degré d'importance pour chaque arête du graphe obtenu dans la première phase. Le chemin optimal en termes de qualité de service est obtenu à l'aide de l'algorithme de Dijkstra. Les résultats expérimentaux en utilisant la plateforme Mininet, prouvent que la solution SMGVHO permet de fournir de meilleures performances en termes d'indicateurs de

la qualité de service, par rapport aux algorithmes existants à savoir : le Handover-Based-RSS, le Handover-Based-Bandwith, et le Handover-Based-Cost Function. Cependant, la solution SMGVHO souffre toujours de deux limitations. La première limitation est que, elle n'a pas pris en compte le paradigme de mobilité des utilisateurs parce qu'elle suppose que ces derniers sont toujours au même endroit. La deuxième limitation est que la solution SMGVHO n'a pas pris en compte l'hétérogénéité des noeuds qui constituent le graphe (points d'accès, utilisateurs) et l'hétérogénéité des différents points d'accès en termes de leurs caractéristiques.

À la lumière de cette analyse de l'état de l'art, dans ce chapitre, nous proposons de modéliser le problème de la sélection du réseau à base de la théorie k-parti graphe sous le paradigme de la mobilité des utilisateurs. Les principales contributions du présent chapitre peuvent être résumées comme suit :

- Nous introduisons pour la première fois un graphe k-parti pour modéliser le problème du handover vertical dans un environnement de réseaux hétérogènes sans fil ;
- Nous développons une nouvelle fonction de coût basée sur des critères dynamiques et statiques afin d'associer un degré d'importance pour chaque arête dans le graphe ;
- Nous utilisons la méthode AHP pour pondérer les différents critères qui interviennent dans la fonction du coût ;
- Nous développons une nouvelle stratégie du handover vertical qui repose sur l'algorithme de Dijkstra afin de trouver le meilleur chemin en termes de qualité de service ;
- Nous évaluons la performance de notre stratégie du handover vertical en termes d'indicateurs de QoS, dans un environnement réel à l'aide de l'émulateur Mininet.

7.3 Modélisation et stratégie proposées pour le handover vertical

Dans cette section, nous décrivons brièvement les fondements théoriques d'un graphe k-parti. Ensuite, nous introduisons cette théorie pour modéliser le problème du handover vertical. Enfin, nous présentons notre stratégie du handover vertical qui permet de choisir le meilleur chemin entre deux noeuds en termes de qualité de service.

7.3.1 Structure d'un graphe k-parti

Dans ce paragraphe, nous donnons la définition de la structure d'un graphe k-parti, sur laquelle notre modélisation est fondée.

Un graphe k-parti est un couple $G = (V, E)$, où V est l'ensemble des sommets, et E indique l'ensemble des arêtes.

L'ensemble des sommets V , peut être divisé en k sous ensembles indépendants que l'on appelle aussi des parties : $V_i, i = 1, \dots, k$:

$$V = \bigcup_{i=1}^k V_i, \quad V_i \cap V_j = \emptyset \quad i \neq j \quad (7.1)$$

L'ensemble E des arêtes est exprimé comme suit : :

$$E \subseteq V_1 \times V_2 \dots \times V_k \quad (7.2)$$

CHAPITRE 7. AXE 2 : MODÉLISATION DE LA GESTION DE MOBILITÉ DANS LES RÉSEAUX SANS FIL HÉTÉROGÈNES

Par rapport à un graphe classique, les noeuds d'un graphe k-parti sont séparés en k ensembles V_i , qui sont disjoints et les liens relient exclusivement les noeuds appartenant à deux ensembles différents. En fait, notre choix d'un graphe k-parti pour modéliser le problème du handover vertical est motivé par le fait que l'infrastructure réseau qu'on souhaite modéliser est considérée comme un environnement réseau hétérogène. La notion d'hétérogénéité dans un réseau peut avoir différents aspects. En effet, les sous systèmes d'un réseau peuvent être gérés par des prestataires de services différents, peuvent utiliser différents types de supports de transmission tels que le câble, la satellite ou la radio.

D'autre part, le réseau peut être considéré hétérogène du point de vue des utilisateurs qui exigent différents types de services avec un mode de tarification différent. Finalement, l'hétérogénéité de réseau peut être aussi par rapport aux services fournis aux utilisateurs via chaque technologie. Ces différents aspects d'hétérogénéité, peuvent être traités à l'aide d'un graphe k-parti. Dans cette contribution, nous nous focalisons sur deux aspects d'hétérogénéité, il s'agit de l'hétérogénéité des noeuds (utilisateurs, points d'accès) et l'hétérogénéité des différents points d'accès.

7.3.2 Déploiement réseau

Chaque zone géographique gérée par un prestataire de services, contient un ensemble de points d'accès, tels que WiFi, UMTS, WIMAX et LTE. La stratégie classique proposée dans [43] pour le déploiement de cette zone géographique est présentée dans la figure 7.4.

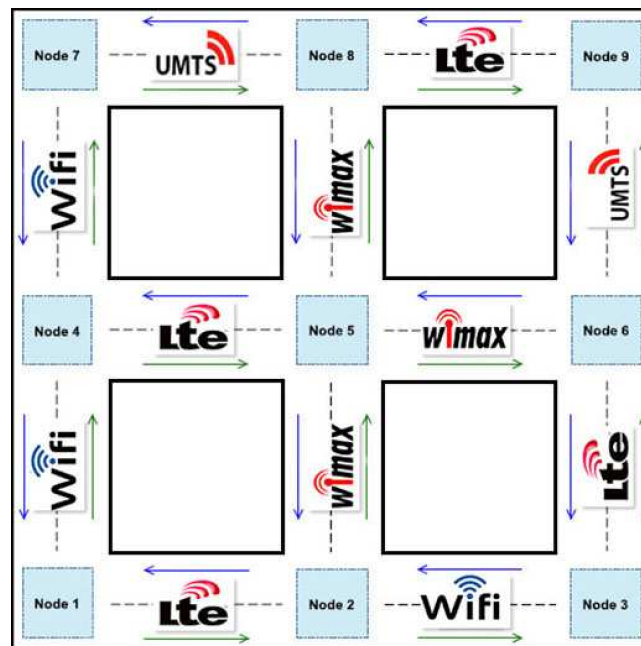


FIG. 7.1 – Déploiement traditionnel du réseau d'une zone géographique hétérogène

Pour surmonter cette limitation liée au déploiement traditionnel du réseau, nous proposons dans ce chapitre, une nouvelle mise en place des différents points d'accès, comme la montre la figure 7.2. Notre objectif est de modéliser ce nouveau déploiement de réseau en utilisant un graphe k-parti. L'idée de base de notre modélisation réside dans le fait que chaque noeud de ce graphe k-parti peut être un point d'accès ou un utilisateur mobile.

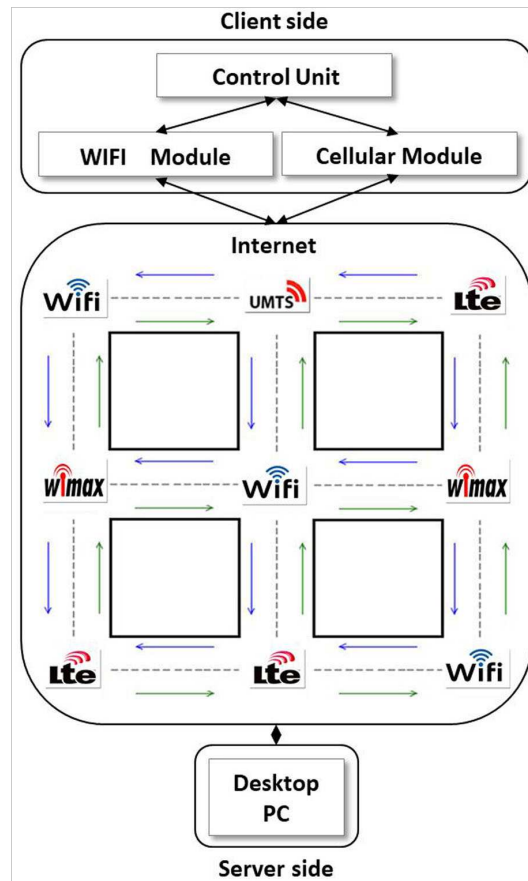


FIG. 7.2 – Notre amélioration du déploiement du réseau d’une zone géographique hétérogène

7.3.3 Modélisation

Afin de modéliser la zone géographique hétérogène décrite dans la figure 7.2, nous introduisons la théorie des graphes. Nous formulons le problème du handover vertical en utilisant un graphe k -parti $G = (V1, V2, V3, V4, E)$. Dans ce graphe G , nous considérons quatre sous ensembles des noeuds ($K = 4$) $\{V1, V2, V3, V4\}$. Chaque sous ensemble V_i ($i = 1, 2, 3, 4$) contient différents les points d’accès ou les différents utilisateurs mobiles. La répartition de tous les noeuds de la figure 7.2 en fonction de chaque sous ensemble est donnée ci-dessous :

- $V1 = \{User1, User2, User3, User4\}$
- $V2 = \{Wifi, LTE, Wifi\}$
- $V3 = \{WiMax, UMTS, WiMax\}$
- $V4 = \{LTE, Wifi, LTE\}$

D’une part, l’ensemble E indique les différentes liaisons de communication entre les utilisateurs mobiles et les réseaux d’accès candidats. Le graphe k -parti G , qui concerne la zone géographique (figure 7.2), est présenté dans la figure 7.3. D’autre part, le graphe G obtenu est considéré dynamique, parce que la topologie et la valeur de la fonction de coût de chaque arête sont modifiées sur une plage de temps t ($t = 1, 2, 3, 4, \dots$). Ainsi, à chaque intervalle du temps, nous générons un graphe $G_t = (V1_t, V2_t, V3_t, V4_t, E_t)$. Nous développons une nouvelle fonction de coût afin de quantifier chaque élément $e_{ij} \in E$.

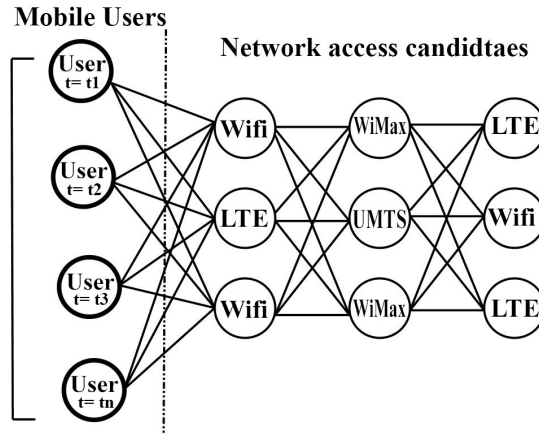


FIG. 7.3 – Notre graphe k-parti proposé pour modéliser le handover vertical

7.3.4 Notre stratégie de la sélection du meilleur chemin

Comme nous l'avons déjà souligné dans les sections 7.1 et 7.2, tous les algorithmes existants dans la littérature, permettent de choisir uniquement un seul réseau d'accès. Pour faire face à problème, nous proposons, un nouveau modèle basé sur un graphe k-parti et dynamique. Ce modèle est appelé NMBDG, il permet de choisir le meilleur chemin en termes de qualité de service durant le processus de la sélection du réseau. Le chemin sélectionné contient plusieurs réseaux d'accès présentant des caractéristiques différentes. Nous utilisons l'algorithme de Dijkstra [44], pour déterminer le meilleur chemin d'accès d'un noeud source (l'utilisateur mobile) à un noeud cible (le serveur d'application). Pour appliquer cet algorithme, nous construisons d'abord la matrice de d'adjacence qui représente notre zone géographique du handover vertical. Chaque élément de cette matrice est le poids d'une arête entre deux noeuds.

Nous développons une nouvelle fonction de coût pour mesurer le poids de chaque arête. Dans notre graphe k-parti G , nous distinguons deux types de liaisons de communication. La première arête représente la liaison entre l'utilisateur mobile (MU) et le point d'accès (AP), tandis que la seconde représente la liaison entre deux APs. Par conséquent, nous élaborons deux types de fonctions de coût en utilisant l'équation (7.3) :

$$C(e_{ij}) = \begin{cases} C1, & \text{when } e_{ij} \text{ is link between MU and AP} \\ C2, & \text{when } e_{ij} \text{ is link between two APs} \end{cases} \quad (7.3)$$

La fonction de coût $C1(e_{ij})$ est calculée comme suit :

$$C1(e_{ij}) = w_1CB + \frac{w_2}{S} + \frac{w_3}{AB} + w_4PD + w_5PJ + w_6PL \quad (7.4)$$

Les différents critères introduits dans cette formule sont : Coût de service (CB), Sécurité (S), Bande passante disponible (AB), délai (PD), gigue (PJ) et taux de perte (PL). Ces paramètres représentent la performance du point d'accès (AP) qu'est installé au niveau de l'arête e_{ij}

De plus, la fonction de coût $C2(e_{ij})$ est calculée comme suit :

$$C2(e_{ij}) = w_1CB_m + \frac{w_2}{S_m} + \frac{w_3}{AB_m} + w_4PD_m + w_5PJ_m + w_6PL_m \quad (7.5)$$

7.3. MODÉLISATION ET STRATÉGIE PROPOSÉES POUR LE HANDOVER VERTICAL

Où CB_m , S_m , AB_m , PD_m , PJ_m and PL_m représentent les taux moyens entre deux points d'accès installés au niveau de l'arête e_{ij} respectivement en termes de CB, S, AB, PD, PJ et PL,

Pour les deux fonctions $C1$ et $C2$, les valeurs $w1$, $w2$, $w3$, $w4$, $w5$ et $w6$ représentent respectivement les poids accordés aux six critères : Coût de service (CB), Sécurité (S), Bande passante disponible (AB), délai (PD), gigue (PJ) et taux de perte (PL). La contrainte qui doit être respectée pour ces poids est donnée dans l'équation suivante :

$$\sum_{i=1}^6 w_i = 1 \quad (7.6)$$

Le pseudo-code de notre Algorithme 1, qui permet la sélection du meilleur chemin, est donné ci-dessous :

Algorithm 1 Our strategy for choosing the best path

Input :

- Source node A ;
- Destination node D
- The adjacency matrix G representing the vertical handover area

Output :

- The best access path P from A to D

```
1:  $P = \emptyset$ 
2: for each vertex  $V \in G$  do
3:    $\text{Cost}(V) = \infty$ 
4: end for
5:  $\text{Cost}(A) = 0$ 
6: repeat
7:   Select  $U \notin P$  such that  $\text{Cost}(U)$  minimal
8:   Update  $P \leftarrow P \cup \{U\}$ 
9:   for all nodes  $z \notin P$  do
10:    if ( $z$  is neighbor of  $U$ ) then
11:      //  $G[U][z]$  is the cost of the edge ( $U, z$ )
12:       $\text{Cost}(z) = \min(\text{Cost}(z); \text{Cost}(U) + G[U][z])$ 
13:    end if
14:  end for
15: until the node  $D \in P$ 
16: return the best access path  $P$ 
```

En nous basant sur la référence [45], nous sommes amenés à considérer deux recommandations principales. La première recommandation est que les différents paramètres de QoS ne doivent pas avoir le même degré d'importance pour le même type de service. La deuxième recommandation est que le poids associé à chaque paramètre de la qualité de service varie selon le type de service. Pour cela, nous utilisons la méthode AHP pour attribuer des poids à chaque critère en fonction du type de flux dans la phase de la décision du handover. En outre, la référence [46] nous amène à utiliser la plate forme Mininet, parce que cet émulateur, permet de prendre en considération des conditions réelles concernant les réseaux d'accès.

7.3.5 Élicitation de poids à l'aide de la méthode AHP

Le processus d'analyse hiérarchique (Analytic Hierarchy Process : AHP) a été développé par Saaty [47]. dans les années 1980. Cette méthode consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments du problème. Ensuite, elle procède aux comparaisons par paires des éléments de la hiérarchie. Enfin, elle détermine les priorités des actions. Le principe de fonctionnement de la méthode AHP est défini par les six étapes suivantes :

1. Construire la structure hiérarchique : le problème est décomposé en une hiérarchie d'éléments inter reliés. Au sommet de la hiérarchie, on trouve l'objectif, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Le dernier niveau est celui des actions. La figure 7.4 illustre un exemple du modèle hiérarchique défini par la méthode AHP.

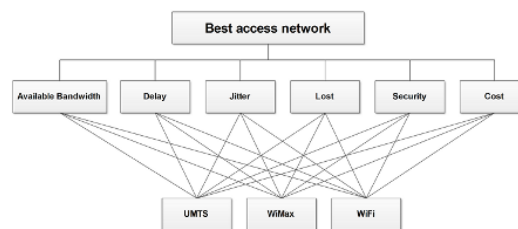


FIG. 7.4 – Hiérarchie de la méthode AHP pour la sélection du réseau

2. Construire les matrices de décisions : cette étape consiste à construire des matrices de comparaisons entre les composants et entre les éléments de chaque composant. La manière de construction de ces matrices est identique à celle de la deuxième étape de la méthode ANP.
3. Construire la matrice de décision normalisée : est identique à celle de la troisième étape de la méthode ANP.
4. Déterminer l'importance relative à chaque élément : on applique le même principe que la quatrième étape de la méthode ANP.
5. Vérifier la cohérence des jugements : on reprend la même procédure de la cinquième étape de la méthode ANP

7.3.6 Complexité computationnelle de notre stratégie

Comme nous l'avons déjà mentionné dans la section 7.1, la modélisation du handover vertical par un graphe k-parti est considérée comme un problème NP-difficile. Dans cette contribution, nous supposons que le déploiement des points d'accès (APs) est déjà effectué par l'opérateur de télécommunications. Pour cela, nous exploitons seulement le graphe existant, qui modélise cette infrastructure, afin de construire notre nouveau graphe k-parti. La complexité computationnelle pour modéliser cet environnement hétérogène ne concerne que la complexité pour transformer un graphe existant G en un graphe k-parti. Par conséquent, la complexité de la modélisation du handover vertical sous la forme d'un graphe k-parti est égale à $O(n)$, où n représente le nombre de sommets. De plus, la complexité de l'algorithme de Dijkstra, est $O(n^3)$, avec n représente le nombre de noeuds du graphe. Ainsi, sur la base de cette analyse, nous déduisons que la complexité temporelle de notre approche proposée est égale à $O(n^3)$, parce que $O(n^3) + O(n) = O(n^3)$.

7.4 Évaluation expérimentale

7.4.1 Environnement expérimentale

Afin de valider expérimentalement notre stratégie NMBDG qui repose sur un graphe k-parti, nous menons deux expériences en temps réel, en utilisant l'émulateur Mininet [48], pour les deux types d'applications FTP et streaming. Dans la première expérience, nous comparons la performance de notre stratégie NMBDG en termes de qualité de service, avec celle de la méthode traditionnelle SMGVHO [43], tandis que dans la deuxième expérience, nous analysons les deux types de flux FTP et streaming, cela dans le but de comparer la performance de notre stratégie NMBDG par rapport aux trois algorithmes : le handover-based-RSS, le handover-based-Bande passante et le handover-based fonction de coût.

Pour chaque expérience réelle (testBed), nous analysons la performance en termes de quatre indicateurs de la qualité de service : débit, taux de perte, délai, et gigue.

Le scénario utilisé dans ces deux expériences réelles est illustré par la figure 7.5. Les principaux paramètres de l'émulation utilisés pour les deux expériences sont présentés dans le tableau 7.1.

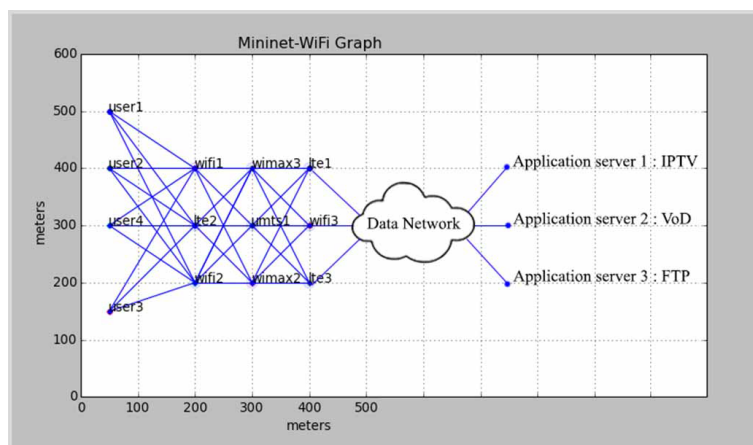


FIG. 7.5 – Topologie considérée dans la plateforme d'émulation Mininet

De nos jours, l'utilisation des réseaux sans fil pour se connecter à l'Internet est devenue très populaire. Par conséquent, il est désormais nécessaire de tenir compte des problèmes de sécurité liés à l'utilisation de l'Internet. En général, les utilisateurs ont besoin d'avoir un certain niveau de sécurité pour se connecter à Internet, en utilisant les différents réseaux sans fil. Afin de garantir un certain niveau de sécurité pour les utilisateurs, nous avons introduit l'attribut de sécurité dans notre fonction du coût proposée. Cet attribut correspond aux préférences de l'utilisateur en ce qui concerne le niveau de sécurité souhaité avant de choisir un réseau d'accès pour se connecter à l'Internet. Les utilisateurs peuvent exprimer leurs préférences en utilisant des variables linguistiques (absence de sécurité, sécurité faible, sécurité moyenne, sécurité élevée, etc). En deuxième temps, nous avons exploité la même idée publiée dans la référence [49] pour convertir chaque variable linguistique en variable numérique à l'aide de la logique floue. Les différents termes associés aux niveaux de sécurité sont quantifiés comme indiqué dans le tableau 7.2.

Nous notons que pour chaque réseau d'accès, les valeurs concernant les attributs dynamiques tels que : la bande passante disponible, le délai, la gigue et le taux de perte sont obtenues en temps réel via l'émulateur

CHAPITRE 7. AXE 2 : MODÉLISATION DE LA GESTION DE MOBILITÉ DANS LES RÉSEAUX SANS FIL HÉTÉROGÈNES

TAB. 7.1 – Les paramètres utilisés dans la plateforme d’émulation Mininet

Parameter	Value
Simulation Area	400x400 m^2
Simulation Time	900 sec
Number of access points	9
Technologies used	UMTS, LTE, WIFI, WIMAX
Type of services	FTP, Streaming
File Size	15 MB
Number of mobile users	4
Mobility Model	Random Waypoint Mobility Direction
Velocity of mobile user 1	20 km/h
Velocity of other users	20 km/h
LTE Rate transmission	14 Mbps
UMTS Rate transmission	1.2 Mbps
WIFI Rate transmission	10 Mbps
WIMAX Rate transmission	12.5 Mbps

TAB. 7.2 – Quantification des termes flous

Fuzzy terms	Level of security
non secure network	0%
Very low	20%
Low	30%
Moderately low	40%
Medium	50%
High	60%
Moderately high	70%
Very high	80%

Mininet, tandis que les attributs statiques (coût de service et sécurité) sont présentés dans le tableau 7.3. Le tableau 7.4 montre le poids accordé aux différents critères en fonction du service FTP, tandis que le tableau 7.5 illustre le poids accordé aux différents critères en fonction du flux streaming.

TAB. 7.3 – Valeurs des attributs statiques

Network	Cost per byte (cent/Byte)	Security (%)
WIFI	$1 * 10^{-6}$	50
UMTS	$45 * 10^{-6}$	70
WIMAX	$10 * 10^{-6}$	60
LTE	$1 * 10^{-6}$	60

TAB. 7.4 – Poids accordé à chaque critère pour le flux FTP

Critères	CB	S	AB	D	J	L	Poids
CB	1	1/3	1/7	1/7	1/7	1/7	0.085
S	3	1	1/4	1/4	1/4	1/4	0.213
AB	7	4	1	9	9	3	0.430
D	7	4	1/9	1	1	1/5	0.042
J	7	4	1/9	1	1	1/5	0.042
L	7	4	1/3	5	5	1	0.187

TAB. 7.5 – Poids accordé à chaque critère pour le flux streaming

Critères	CB	S	AB	D	J	L	Poids
CB	1	1/3	1/7	1/7	1/7	1/7	0.085
S	3	1	1/4	1/4	1/4	1/4	0.213
AB	7	4	1	7	2	2	0.300
D	7	4	1/7	1	1/4	1/5	0.041
J	7	4	1/2	4	1	2	0.151
L	7	4	1/2	5	1/2	1	0.210

7.4.2 Les indicateurs de la qualité de service

Dans cette contribution, nous évaluons la performance de notre stratégie du handover vertical en termes de quatre métriques de la qualité de services : la bande passante (TR), le taux de pertes (PL), le délai (PD) et la gigue (PJ). Chaque indicateur de QoS peut être décrit brièvement comme suit :

- La bande passante (TR) : indique la quantité moyenne de données transférées avec succès par un canal de communication dans un intervalle du temps, elle est exprimée en bits par seconde (bit/s).
- Le PL : est le rapport entre le nombre de paquets reçus et le nombre de paquets envoyés à partir d'une source de communication.
- Le PD : est défini comme la différence entre le temps pris par les paquets transmis de la source à la destination. Il inclut le temps de la mise en file d'attente, le temps de traitement et le temps de propagation. Il est exprimé en millisecondes (ms).
- Le PJ : indique la variation de délai de transmission des paquets. La valeur de ce paramètre est exprimée en millisecondes (ms).

Il convient de noter que le choix du meilleur chemin en termes de qualité de service est effectué en calculant la moyenne de chaque métrique pour chaque point d'accès constituant ce chemin. Nous signalons que le chemin d'accès P , qui sera choisi pour établir la communication entre un utilisateur mobile et un serveur d'application, est formulé comme suit :

$$P = \{AP_1, AP_2, \dots, AP_k\} \quad (7.7)$$

Où AP_1, AP_2, \dots, AP_k sont les différents points d'accès, tel que $1 \leq i \leq k - 1$, $(AP_i, AP_{i+1}) \in G$

CHAPITRE 7. AXE 2 : MODÉLISATION DE LA GESTION DE MOBILITÉ DANS LES RÉSEAUX SANS FIL HÉTÉROGÈNES

- Le débit moyen Thr_{avg} qui correspond au chemin choisi P , est calculé en utilisant la formule suivante :

$$Thr_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^k Thr_{AP_i}}{k} \quad (7.8)$$

- Le taux de pertes moyen PL_{avg} qui correspond au chemin choisi P , est obtenu en utilisant la formule suivante :

$$PL_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^k PL_{AP_i}}{k} \quad (7.9)$$

- Le délai moyen PD_{avg} qui correspond au chemin choisi P , est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$PD_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^k PD_{AP_i}}{k} \quad (7.10)$$

- La gigue moyenne PJ_{avg} qui correspond au chemin choisi P , est définie dans l'équation suivante :

$$PJ_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^k PJ_{AP_i}}{k} \quad (7.11)$$

7.4.3 Résultats expérimentaux

7.4.3.1 Expérience 1

Dans cette expérience, nous validons l'efficacité de notre stratégie NMBDG par rapport à la méthode traditionnelle SMGVHO en termes de différents indicateurs de qualité de service. Nous décrivons brièvement le principe de ces deux méthodes ci-dessous :

- La stratégie NMBDG : cette technique de la sélection du réseau représente notre stratégie proposée qui repose sur un graphe k-parti.
- La technique SMGVHO : cette technique représente la méthode traditionnelle de la sélection du réseau proposée dans la référence [43].

La figure 7.6 illustre le débit moyen du chemin sélectionné pour les deux méthodes, en fonction du service FTP et du service streaming. Nous notons que notre stratégie NMBDG augmente le débit avec une valeur de 12,8 Mbit/s et 13,7 Mbit/s respectivement pour le service FTP et le service streaming. Tandis que la méthode traditionnelle SMGVHO augmente le débit avec une valeur de 9,94 Mbit/s et 12,7 Mbit/s respectivement pour le service FTP et le service streaming. Toutes les valeurs fournies par notre stratégie NMBDG sont supérieures aux valeurs de la méthode traditionnelle SMGVHO. En somme, nous constatons que notre stratégie NMBDG fournit une amélioration significative en termes du débit FTP et du débit streaming par rapport à la méthode traditionnelle SMGVHO.

La figure 7.7 montre le taux moyen de pertes concernant le chemin choisi, pour les deux méthodes NMBDG et SMGVHO. Nous pouvons observer que notre stratégie NMBDG permet de réduire la perte de paquets avec une valeur de 30% et 34% respectivement pour le service FTP et le service streaming. Par contre, l'algorithme classique SMGVHO fournit une valeur de 42% et 36% respectivement pour le service FTP et le service streaming. Pour les deux services, les valeurs fournies par notre solution NMBDG sont inférieures à celles obtenues par l'algorithme SMGVHO. Par conséquent, nous pouvons déduire que notre technique fournit une meilleure performance concernant la perte de paquets par rapport à l'algorithme SMGVHO pour les deux services FTP et streaming.

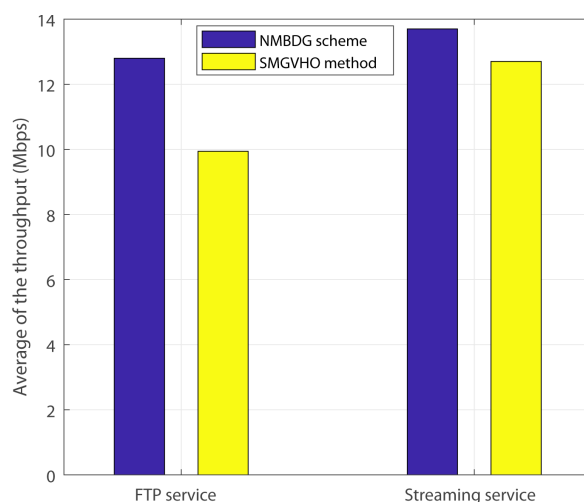


FIG. 7.6 – Comparaison du débit moyen en fonction de deux algorithmes NMBDG et SMGVHO

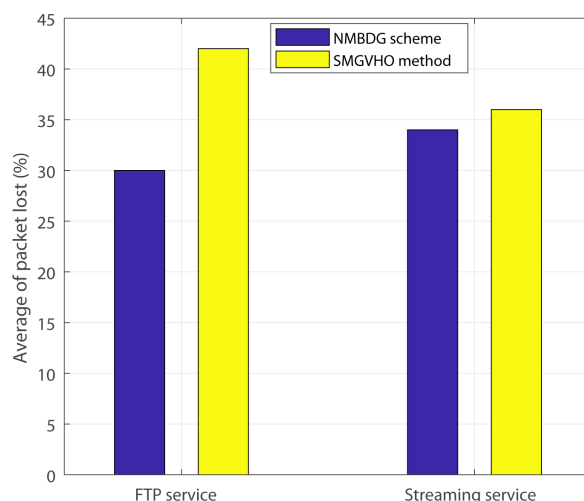


FIG. 7.7 – Comparaison de la perte moyenne en fonction de deux algorithmes NMBDG et SMGVHO

La figure 7.8 montre le délai moyen qui correspond au chemin choisi, pour les deux méthodes NMBDG et SMGVHO en fonction de chaque type de flux. Nous remarquons que notre système NMBDG minimise le délai avec une valeur de 72 ms et 36 ms respectivement pour le flux FTP et le flux streaming, alors que la méthode traditionnelle SMGVHO minimise le délai avec une valeur de 92 ms et 50.22 ms respectivement pour le service FTP et le service streaming. Ce qui nous mène à déduire que notre solution fournit une meilleure performance concernant le délai par rapport à l’algorithme classique SMGVHO.

La figure 7.9 représente le taux moyen de gigue qui correspond au chemin choisi par les deux algorithmes NMBDG et SMGVHO en fonction de chaque type de service. Nous pouvons observer que pour le flux FTP,

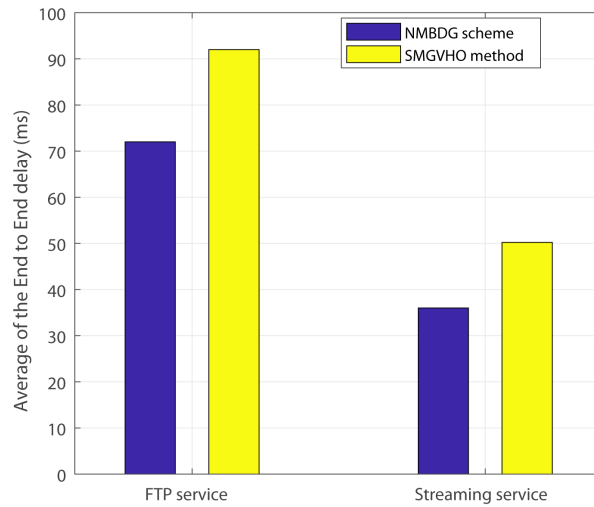


FIG. 7.8 – Comparaison du délai moyen en fonction de deux algorithmes NMBDG et SMGVHO

notre technique permet de réduire la gigue à 1.81 ms, et l’algorithme SMGVHO diminue ce paramètre avec une valeur de 19,5 ms. En revanche, pour le flux streaming, la solution NMBDG minimise la gigue avec une valeur de 2,29 ms et la méthode SMGVHO diminue la gigue avec une valeur de 17,9 ms. Toutes les valeurs fournies par notre stratégie sont inférieures aux valeurs fournies par l’algorithme SMGVHO.

En conclusion, notre stratégie NMBDG fournit une meilleure performance de la gigue par rapport à l’algorithme SMGVHO, pour les deux types de flux.

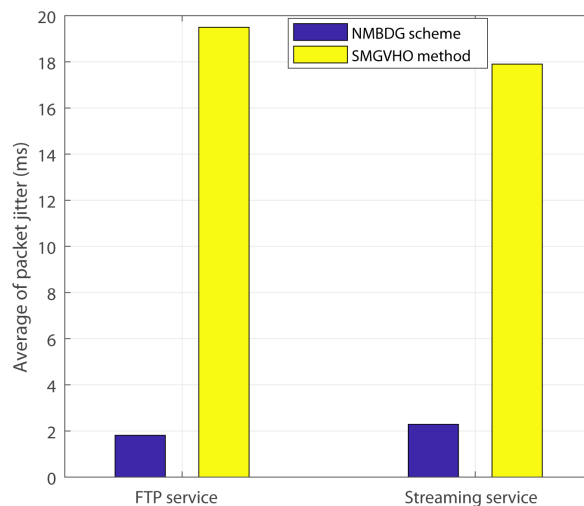


FIG. 7.9 – Comparaison de la gigue moyenne en fonction de deux algorithmes NMBDG et SMGVHO

7.4.3.2 Expérience 2

Dans la deuxième expérience, nous comparons la performance de notre stratégie NMBDG selon les différents indicateurs de la QoS, par rapport aux trois algorithmes suivants :

- CVH-RSS : pour cet algorithme, la décision du handover est basée principalement sur la puissance du signal reçu (RSS : Received Signal Strength). Il est similaire à l'algorithme 1, la seule différence est que le coût de chaque arête est calculé en utilisant l'équation (7.19) :

$$C(e) = RSS_{T_e} \quad (7.12)$$

Où RSS_{T_e} représente la moyenne de deux mesures de RSS obtenues à partir des deux points d'accès qui sont installés au niveau de l'arête e .

- CVHO-Bandwidth : pour cet algorithme, la décision du handover est basée principalement sur la bande passante disponible (Bandwidth). Il est similaire à l'algorithme 1, la seule différence est que le coût de chaque arête est calculé en utilisant la formule suivante :

$$C(e) = AB_{T_e} \quad (7.13)$$

Où AB_{T_e} représente la moyenne de deux mesures de la bande passante disponible obtenues à partir des deux points d'accès qui sont installés au niveau de l'arête e .

- VHO-Cost function : pour cet algorithme, la décision du handover est basée principalement sur la fonction du coût. Il est similaire à l'algorithme 1, la seule différence est que le coût de chaque arête est calculé en utilisant l'équation (7.21) :

$$C(e) = \alpha \left(1 - \frac{PJ_{T_e}}{D_{T_e}}\right) + \beta \left(1 - \frac{AB_{T_e}}{D_{T_e}}\right), \text{ avec } \alpha = \beta = 0.5 \quad (7.14)$$

Où D_{T_e} représente la distance (entre le terminal mobile et le point d'accès) et PJ_{T_e} représente la moyenne de deux mesures de la gigue obtenues à partir des deux points d'accès qui sont installés au niveau de l'arête e .

Nous signalons que la fonction du coût (eq. 7.21) est déjà utilisée dans la référence [42] pour choisir le meilleur chemin dans les réseaux véhiculaires sans fil.

La figure 7.10 présente les débits moyens enregistrés avec ces quatre algorithmes en fonction du flux FTP et streaming. Nous remarquons que notre stratégie NMBDG augmente le débit avec une valeur de 12,8 Mbps et de 13,7 Mbps respectivement pour le trafic FTP et le service streaming. Toutes les valeurs fournies par notre stratégie sont supérieures aux valeurs fournies par les autres algorithmes. Par conséquent, notre NMBDG proposée, peut améliorer le débit FTP et le débit streaming mieux que la méthode CVHO-RSS, la méthode CVHO-Bandwidth et la méthode VHO-Cost pour les deux types de flux. Nous remarquons également, que le débit de la méthode VHO-Cost est de 12,2 Mbit/s pour le service FTP et de 13,02 Mbit/s pour le service streaming. Ces deux valeurs sont supérieures aux valeurs fournies par la méthode CVHO-RSS et la méthode CVHO-Bandwidth. Ainsi, nous confirmons que la fonction de coût qui repose sur plusieurs critères permet de fournir une meilleure performance par rapport à la fonction de coût qui se base sur un seul critère. Finalement, la méthode CVHO-RSS fournit la plus faible valeur pour le débit FTP et la méthode CVHO-Bandwidth fournit la plus faible valeur pour le débit streaming. Par conséquent, ces deux algorithmes ne sont pas favorables pour sélectionner le meilleur chemin.

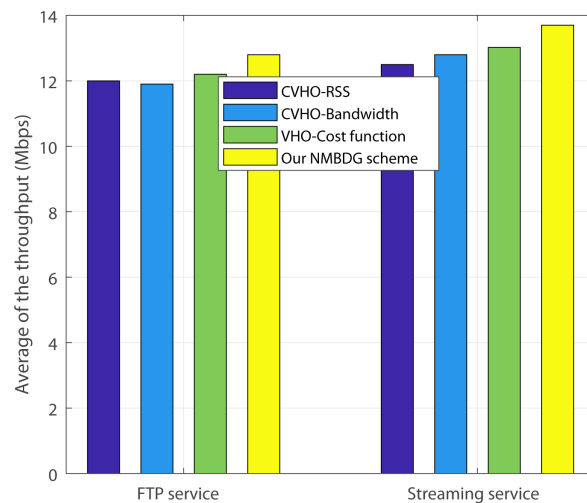


FIG. 7.10 – Taux moyen du débit en fonction des algorithmes de handover

La figure 7.11 montre les pertes moyennes de paquets effectuées par les quatre algorithmes concernant le service FTP et le service streaming. D’après cette figure, nous remarquons que notre stratégie NMBDG minimise la perte de paquets avec une valeur de 30% et 34.7% respectivement pour le service FTP et le service streaming. Les valeurs précédentes sont plus petites que les autres valeurs fournies par les autres algorithmes. Pour cela, notre stratégie fournit une meilleure performance concernant la perte de paquets par rapport aux autres algorithmes, tandis que la méthode l’algorithme VHO-Cost réduit la valeur de la perte de paquets avec 37% pour le flux FTP et 36,02% pour le flux streaming. Ce qui nous mène à déduire que l’algorithme VHO-Cost fournit une meilleure performance concernant la perte de paquets par rapport aux algorithmes conventionnels CVHO-RSS et CVHO-Bandwidth. En outre, la figure 10 montre que les grandes valeurs de ce paramètre sont fournies par l’algorithme CVHO-Bandwidth pour le service FTP et par l’algorithme CVHO-RSS pour le service streaming. Par conséquent, ces deux algorithmes ne sont pas appropriés pour sélectionner le meilleur chemin durant le handover vertical. Enfin, selon la figure 10, nous notons que la stratégie NMBDG et l’algorithme VHO-Cost offrent de meilleures performances par rapport aux autres algorithmes. Ainsi, nous confirmons que la fonction de coût qui se base sur plusieurs critères peut garantir de meilleures performances que celle basée sur un seul critère.

La figure 7.12 montre les délais moyens obtenus avec ces quatre algorithmes en fonction du flux FTP et streaming. Nous remarquons que notre stratégie minimise le délai avec 72 ms pour le service FTP et 36 ms pour le service streaming. Sur la base de ces valeurs, notre stratégie fournit une meilleure performance concernant le délai par rapport aux autres algorithmes. De plus, nous remarquons également que l’algorithme VHO-Cost function réduit le délai avec une valeur de 37 ms et de 36,02 ms, respectivement pour le service FTP et le service streaming. Dans ce cas, cet algorithme permet d’assurer une meilleure performance par rapport aux algorithmes CVH-RSS et CVHO-Bandwidth. En outre, la figure 7.12 montre que la mauvaise performance est donnée par l’algorithme CVHO-Bandwidth, avec une valeur de 116 ms pour le service FTP et 110 ms pour le service streaming. Dans ce cas, l’algorithme CVHO-Bandwidth n’est pas approprié pour déterminer

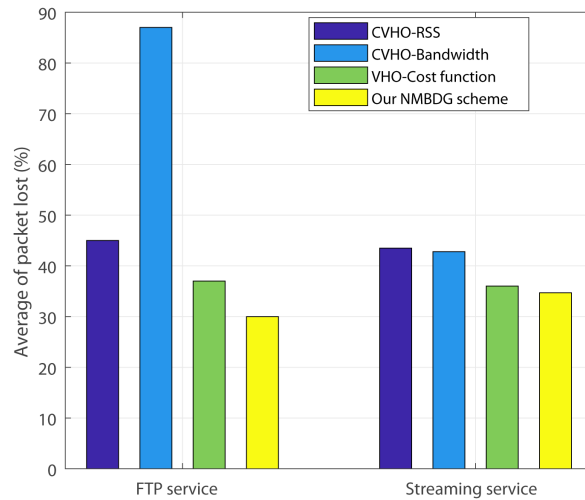


FIG. 7.11 – Taux moyen de la perte en fonction des algorithmes de handover

le meilleur chemin durant le handover vertical. Finalement, nous confirmons l'effet de l'utilisation de plusieurs critères pour évaluer chaque arête. En effet, Il est clair que les deux algorithmes NMBDG et VHO-Cost assurent une meilleure performance en ce qui concerne le délai par rapport aux algorithmes CVHO-RSS et CVHO-Bandwidth.

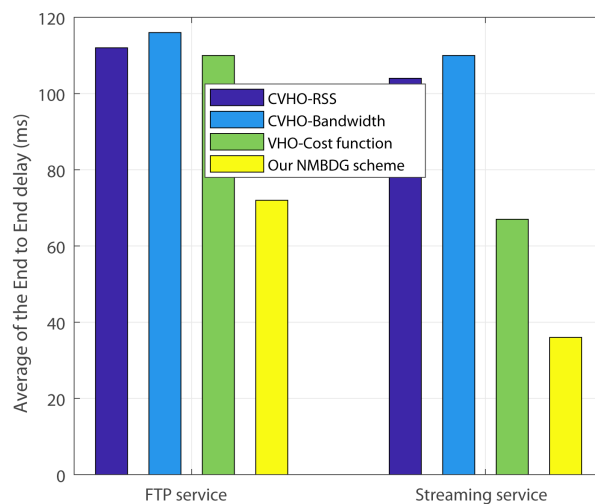


FIG. 7.12 – Taux moyen du délai en fonction des algorithmes de handover

La figure 7.13 présente une comparaison de la variation de la gigue en fonction des quatre algorithmes, pour le service FTP et le service streaming. D'après cette figure, nous remarquons que notre stratégie réduit la gigue avec une valeur de 1,81 ms et 2,29 ms respectivement pour le service FTP et le service streaming. Ces deux valeurs sont inférieures aux valeurs fournies par les autres algorithmes. Par conséquent, notre stratégie proposée

CHAPITRE 7. AXE 2 : MODÉLISATION DE LA GESTION DE MOBILITÉ DANS LES RÉSEAUX SANS FIL HÉTÉROGÈNES

permet d'améliorer la gigue mieux que l'algorithme CVHO-RSS, l'algorithme CVHO-Bandwidth et l'algorithme VHO-Cost pour les différents types de flux. En outre, l'algorithme VHO-Cost réduit la gigue avec une valeur de 4,20 ms pour le service FTP et 4,05 ms pour le service streaming. Sur la base de ces valeurs, l'algorithme VHO-Cost fournit une meilleure performance concernant la gigue par rapport aux deux algorithmes conventionnels. En outre, la méthode CVHO-Bandwidth fournit les valeurs les plus élevées concernant la gigue, avec 4,8 ms pour le service FTP et 16,05 ms pour le service streaming. Pour cette raison, l'algorithme CVHO-Bandwidth n'est pas adéquat pour être utilisé dans le contexte de la sélection du meilleur chemin. Finalement, d'après la figure 12, nous remarquons que la stratégie NMBDG et l'algorithme VHO-Cost assurent une meilleure performance concernant la gigue par rapport aux autres algorithmes. Pour cela, nous pouvons confirmer l'effet de l'utilisation de plusieurs critères pour évaluer chaque arête.

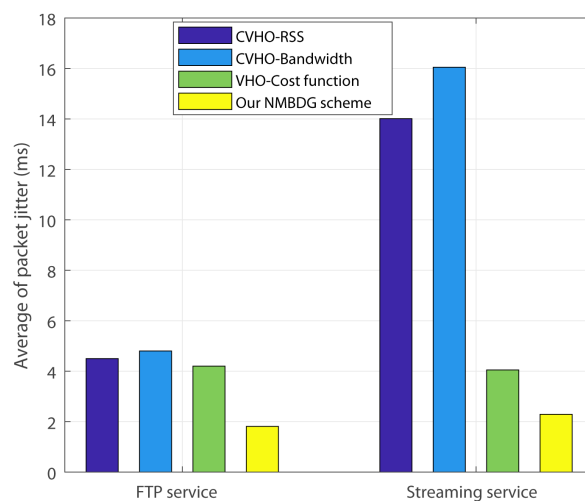


FIG. 7.13 – Taux moyen de la gigue en fonction des algorithmes de handover

7.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une nouvelle stratégie appelée NMBDG pour modéliser et optimiser le problème de la gestion de mobilité verticale (handover vertical). Notre stratégie repose sur la théorie des graphes pour modéliser et construire un graphe k-parti qui représente l'infrastructure de chaque opérateur de télécommunications. Ainsi, après avoir construit le graphe k-parti et dynamique, nous avons introduit une nouvelle fonction de coût couplée avec la méthode AHP pour attribuer un poids pour chaque arête. Ensuite, nous avons appliqué l'algorithme de Dijkstra pour déterminer le meilleur chemin en termes de qualité de service, et pour valider notre stratégie NMBDG, nous avons effectué deux expériences en temps réel pour évaluer la performance en utilisant l'émulateur Mininet. La performance est mesurée en termes de quatre indicateurs de la QoS qui sont : le débit, le taux de pertes, le délai et la gigue.

D'une part, les résultats de la première expérience ont montré que pour les deux types de flux FTP et streaming, notre schéma NMBDG permet de fournir de meilleures performances concernant les indicateurs de la

QoS par rapport à l'algorithme traditionnel SMGVHO. Par conséquent, nous confirmons l'efficacité de notre nouvelle modélisation du handover vertical en utilisant un graphe k-parti. D'autre part, les résultats obtenus dans la deuxième expérience ont montré que notre schéma NMBDG permet de garantir de meilleures performances en termes d'indicateurs de QoS, par aux trois algorithmes existants : l'algorithme CVHO-RSS, l'algorithme CVHO-Bandwidth et l'algorithme VHO-Cost. De plus, nous avons vu que l'algorithme VHO-Cost fournit de meilleures performances concernant les différentes métriques de la QoS par rapport aux algorithmes conventionnels CVHO-RSS et CVHO-Bandwidth. C'est pourquoi nous pouvons confirmer l'effet de l'utilisation de plusieurs critères pour évaluer chaque arête.

Enfin, les différents travaux réalisés dans cet axe de recherche, nous ont permis d'envisager un certain nombre de perspectives. Tout d'abord, concernant la partie expérimentation, nous avons implémenté seulement les réseaux 3G et 4G, Il sera alors intéressant de prendre en compte la technologie 5G dans notre futur d'implémentation du handover vertical. Pour la deuxième perspective, nous nous intéressons à l'amélioration de l'algorithme de Dijkstra en évaluant la performance des autres algorithmes, tels que l'algorithme de Shimbel et l'algorithme de Floyd-Warshall. La dernière piste de recherche, consiste à introduire les techniques d'apprentissage profond afin de prédire le temps approprié pour la phase d'initiation du handover.

Bibliographie

- [1] S. Li, L. Da Xu, S. Zhao, 5G Internet of things : a survey, *J. Ind. Inf. Integr.* 10 (2018) 1-9. (Cite en page 90.)
- [2] M. Lahby, L. Cherkaoui, A. Adib, A novel ranking algorithm based network selection for heterogeneous wireless access, *J. Networks.* 8 (2013) 263-272. (Cite en page 90.)
- [3] Y. Li, M. Li, B. Cao, W. Liu, A conflict avoid method between load balancing and mobility robustness optimization in lte, 2012 1st IEEE Int. Conf. Commun. China, ICC 2012. (2012) 143-148. (Cite en page 91.)
- [4] Y. Li, M. Li, B. Cao, Y. Wang, W. Liu, Dynamic optimization of handover parameters adjustment for conflict avoidance in long term evolution, *China Commun.* 10 (2013) 56-71. (Cite en page 91.)
- [23] L. Wang, G.S.G.S. Kuo, Mathematical modeling for network selection in heterogeneous wireless networks : a tutorial, *IEEE Commun. Surv. Tutorials.* 15 (2013) 271-292. (Cite en pages 91 et 117.)
- [6] Q.T. Nguyen-Vuong, Y. Ghamri-Doudane, N. Agoulmine, On utility models for access network selection in wireless heterogeneous networks, *NOMS 2008 - IEEE/IFIP Netw.* (2008) 144-151. (Cite en page 91.)
- [7] P. Kosmides, A. Rouskas, M. Anagnostou, Utility-based rat selection optimization in heterogeneous wireless networks, *Pervasive Mob. Comput.* 12 (2014) 92-111. (Cite en page 91.)
- [20] X. Yan, et al. A traveling distance prediction based method to minimize unnecessary handovers from cellular networks to w lans, *IEEE Commun. Lett.* 12 (2008) 14-16. (Cite en pages 91 et 118.)
- [9] A. Hasswa, N. Nasser, H. Hassanein, Generic vertical handoff decision function for heterogeneous wireless networks, 2005 Int. Conf. Wirel. Opt. Commun. Networks. (2005) 239-243. (Cite en page 91.)
- [10] J. Hou, D.C. O'Brien, Vertical handover decision-making algorithm using fuzzy logic for the integrated radio-and-ow system, *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 5 (2006) 176-185. (Cite en page 91.)
- [11] D. Todinca, C. Cernazanu-Glavan, Novel network selection algorithm based on fuzzy inference, SACI 2013 - 8th IEEE Int. Symp. Appl. Comput. Intell. Informatics, Proc. (2013) 467-472. (Cite en page 91.)
- [12] N. Abbas, J.J. Saade, A fuzzy logic based approach for network selection in wlan/3g heterogeneous network, 2015 12th Annu. IEEE Consum. Commun. Netw. Conf. CCNC 2015. (2015) 631-636. (Cite en page 91.)
- [13] T. Thumthawatworn, P. Tillapart, P. Santiprabhob, Adaptive multi-fuzzy engines for handover decision in heterogeneous wireless networks, *Wirel. Pers. Commun.* 93 (2017) 1005-1026. (Cite en page 91.)
- [14] R. Trestian, O. Ormond, G.M. Muntean, Game theory-based network selection : solutions and challenges, *IEEE Commun. Surv. Tutorials.* 14 (2012) 1212-1231. (Cite en page 91.)
- [15] A. Keshavarz-Haddad, E. Aryafar, M. Wang, M. Chiang, Hetnets selection by clients : convergence, efficiency, and practicality, *IEEE/ACM Trans. Netw.* 25 (2017) 406-419. (Cite en page 91.)
- [16] D. Niyato, E. Hossain, Dynamics of network selection in heterogeneous wireless networks : an evolutionary game approach, *IEEE Trans. Veh. Technol.* 58 (2009) 2008-2017. (Cite en page 91.)
- [17] E. Stevens-Navarro, Y. Lin, V. Wong, An mdp based vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 57(2) (2008) 1243-1254. (Cite en pages 91 et 92.)
- [18] J. Zhu, et al. An optimal vertical handoff decision algorithm for multiple services with different priorities in heterogeneous wireless networks, *Wirel. Pers. Commun.* 83 (2015) 527-549. (Cite en page 91.)
- [19] E. Khloussy, X. Gelabert, Y. Jiang, Investigation on mdp-based radio access technology selection in heterogeneous wireless networks, *Comput. Networks.* 91 (2015) 57-67. (Cite en page 92.)
- [20] M. Mezzavilla, S. Goyal, S. Panwar, S. Rangan, M. Zorzi, An mdp model for optimal handover decisions in mm-wave cellular networks, *EUCNC 2016 - Eur. Conf. Networks Commun.* (2016) 100-105. (Cite en page 92.)
- [21] Q.Z. Ullah, F. Ullah, F.W. Karam, S. Hassan, S. Lee, A moga-markov chain optimized ranking algorithm for wireless access networks in heterogeneous environment, *Int. Conf. Ubiquitous Futur. Networks, ICUFN.* (2017) 332-337. (Cite en page 92.)

- [22] M. Lahby, S. Baghla, A. Sekkaki, Survey and comparison of madm methods for network selection access in heterogeneous networks, 2015 7th Int. Conf. New Technol. Mobil. Secur. - Proc. NTMS 2015 Conf. Work. (2015) 1-6. (Cite en page 92.)
- [23] E. Obayiuwana, O.E. Falowo, Network selection in heterogeneous wireless networks using multi-criteria decision-making algorithms : a review, *Wirel. Networks.* 23 (2017) 2617-2649. (Cite en page 92.)
- [24] S.M. Liu, Q.M. Meng, S. Pan, Z.K. Mi, A Simple additive weighting vertical handoff algorithm based on sinr and ahp for heterogeneous wireless networks, *Dianzi Yu Xinxixuebao/Journal Electron. Inf. Technol.* 33 (2011) 235-239. (Cite en page 92.)
- [25] F.W. Karam, Performance analysis of ranking for qos handover algorithm for selection of access network in heterogeneous wireless, In 21st International Conference on Computer Communications and Networks, (2012) 1-6. (Cite en page 92.)
- [26] R. Verma, N.P. Singh, GRA based network selection in heterogeneous wireless networks, *Wirel. Pers. Commun.* 72 (2013) 1437-1452. (Cite en page 92.)
- [27] M. Lahby, A. Adib, Network selection mechanism by using m-ahp/gra for heterogeneous networks, *Proc. 2013 6th Jt. IFIP Wirel. Mob. Netw. Conf. WMNC 2013.* (2013) 1-6. (Cite en page 92.)
- [28] M. Lahby, C. Leghris, A. Adib, A hybrid approach for network selection in heterogeneous multi-access environments, 2011 4th IFIP Int. Conf. New Technol. Mobil. Secur. NTMS 2011 - Proc. (2011) 1-5. (Cite en page 92.)
- [29] M.A. Senouci, M.S. Mushtaq, S. Hoceini, A. Mellouk, TOPSIS-based dynamic approach for mobile network interface selection, *Comput. Networks.* 107 (2016) 304-314. (Cite en page 92.)
- [30] M. Bhatia, K. Kumar, Network selection in cognitive radio enabled wireless body area networks, *Digit. Commun. Networks.* (2018) 1-11. (Cite en page 92.)
- [31] SriW. Zhang, Handover decision using fuzzy madm in heterogeneous networks, 2004 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC 2004. 2 (2004) 653-658. (Cite en page 92.)
- [32] M. Alkhwilani, A. Ayesh, Access network selection based on fuzzy logic and genetic algorithms, *Adv. Artif. Intell.* 2008 (2008) 1-12. (Cite en page 92.)
- [33] A. Çalhan, C. Çeken, An optimum vertical handoff decision algorithm based on adaptive fuzzy logic and genetic algorithm, *Wirel. Pers. Commun.* 64 (2012) 647-664. (Cite en page 92.)
- [34] P.N. Tran, N. Boukhatem, An utility-based interface selection scheme for multi-homed mobile terminals, *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC.* (2009) 767-772. (Cite en page 92.)
- [35] M. Lahby, A. Attioui, A. Sekkaki, An improved policy for network selection decision based on enhanced-topsis and utility function, 2017 13th Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. Conf. IWCMC, (2017) 2175-2180. (Cite en page 93.)
- [36] R.K. Goyal, S. Kaushal, A.K. Sangaiah, The utility based non-linear fuzzy ahp optimization model for network selection in heterogeneous wireless networks, *Appl. Soft Comput. J.* 67 (2018) 800-811. (Cite en page 93.)
- [37] S. Goudarzi, W.H. Hassan, M.H. Anisi, S.A. Soleymani, Mdp-based network selection scheme by genetic algorithm and simulated annealing for vertical-handover in heterogeneous wireless networks, *Wirel. Pers. Commun.* 92 (2017) 399-436. (Cite en page 93.)
- [38] J.K. Hao, R. Dorne, P. Galinier, Tabu search for frequency assignment in mobile radio networks, *J. Heuristics.* 4 (1998) 47-62. (Cite en page 93.)
- [39] B. Naeem, R. Ngah, S.Z.M. Hashim, W. Maqbool, Vertical handover decision using history-based communication graph for heterogeneous networks, *ICOS 2014 - 2014 IEEE Conf. Open Syst.* (2014) 7-11. (Cite en pages 93 et 94.)
- [40] Z. Dejanovic et al. A new approach for vertical handover between lte and wlan based on fuzzy logic and graph theory, *Stud. Comput. Intell.* 737 (2017) 81-86. (Cite en pages 93 et 94.)
- [41] H. Kobayashi, E. Kameda, Y. Terashima, N. Shinomiya, Towards sustainable heterogeneous wireless networks : a decision strategy for ap selection with dynamic graphs, *Comput. Networks.* 132 (2018) 99-107. (Cite en pages 93 et 94.)
- [42] A. Mabrouk, A. Kobbane, E. Sabir, J. Ben-Othman, M. El Koutbi, Meeting always-best-connected paradigm in heterogeneous vehicular networks : A graph theory and a signaling game analysis, *Veh. Commun.* 5 (2016) 1-8. (Cite en pages 93, 94 et 107.)

BIBLIOGRAPHIE

- [43] M. Lahby, A. Sekkaki, A Graph theory based network selection algorithm in heterogeneous wireless networks, 2018 9th IFIP Int. Conf. New Technol. Mobil. Secur. NTMS 2018 - Proc. 2018-Janua (2018) 1-4. (Cite en pages 93, 94, 96, 101 et 104.)
- [44] E.W. Dijkstra, A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische mathematik*, 1(1) (1959) 269-271. (Cite en page 98.)
- [45] C. Rafael, A. Cacheda, D.C. Garc, F.J. Gonz, Qos requirements for multimedia, In *Resource Management in Satellite Networks*, Springer (2007) 67-94. (Cite en page 99.)
- [46] Y. Li, J. Liu, B. Cao, C. Wang, Joint optimization of radio and virtual machine resources with uncertain user demands in mobile cloud computing, *IEEE Trans. Multimed.* 20 (2018) 2427-2438. (Cite en page 99.)
- [47] T.L. Saaty, Decision making with the analytic hierarchy process, *Sci. Iran.* 9 (2002) 215-229. (Cite en page 100.)
- [48] R.R. Fontes, S. Afzal, S.H.B. Brito, M.A.S. Santos, C.E. Rothenberg, Mininet-wifi : emulating software-defined wireless networks, *Proc. 11th Int. Conf. Netw. Serv. Manag. CNSM 2015.* (2015) 384-389. (Cite en page 101.)
- [49] I. Lassoued, J.M. Bonnin, Z. Ben Hamouda, A. Belghith, A methodology for evaluating vertical handoff decision mechanisms, *Proc. - 7th Int. Conf. Networking, ICN 2008.* (2008) 377-384. (Cite en page 101.)

Axe 3 : Optimisation des risques bancaires

Sommaire

8.1 Introduction	115
8.2 État de l'art	117
8.2.1 Les algorithmes du machine learning pour l'approbation de crédit	117
8.2.2 Les algorithmes du machine learning pour la détection de fraude	118
8.3 Notre architecture de classification en temps réel	119
8.3.1 Modèle de prediction	119
8.3.2 Deep auto-encoder	120
8.3.3 Deep Neural network	121
8.4 Évaluation expérimentale	122
8.4.1 Implémentation de notre architecture	122
8.4.2 Datasets	123
8.4.3 Paramètres d'évaluation de performances	126
8.4.4 Paradigms	126
8.4.5 Résultats expérimentaux	127
8.5 Conclusion	134

Dans cette thématique de recherche nous nous focalisons sur l'optimisation des risques dans le système bancaire à l'aide des algorithmes du machine learning. Les travaux présentés dans ce chapitre sont principalement le fruit de collaboration avec le professeur M. Abdelbaki Attioui, responsable de notre équipe de recherche. Nous avons co-encadré ensemble le doctorant M. Abakarim Youness dans son sujet de thèse intitulé Mise en place d'une architecture cognitive pour E-banking.

Nous commencerons par présenter dans la section 8.1, le contexte et la motivation de cette nouvelle thématique de recherche. Dans la section 8.2, nous donnons un état de l'art des différents travaux proposés dans la littérature en rapport avec notre problème. La section 8.3 décrit l'architecture de notre modèle qui repose sur le Deep Learning. Dans la section 8.4, nous décrivons notre environnement de test, les caractéristiques de l'ensemble de données utilisées, les paradigmes utilisés pour l'évaluation et la description des métriques utilisées. Dans la même section, nous présentons et nous analysons les résultats du test. Enfin, dans la section 8.5, nous tirons quelques conclusions et nous indiquons nos futurs travaux dans cet axe.

8.1 Introduction

Le développement, de plus en plus rapide des technologies de l'information a poussé les banques, secteur majeur de l'économie mondiale, à s'adapter à cette évolution et même à tirer profit. En effet, la transformation

digitale de toutes les activités bancaires est devenue une obligation. Cette digitalisation permet de maintenir la position de la banque et d'accroître sa part dans le marché financier, tout en satisfaisant ses clients. Néanmoins, le secteur bancaire reste loin d'exploiter les possibilités technologiques offertes, vu que l'actuelle pratique se limite à des opérations bancaires simples sans l'exploitation des données collectées par les banques. Comme le souligne Christine Lejoux, journaliste financière aux Echos : "Salaire, propension à dépenser ou au contraire à épargner, entreprises préférées,... Les banques savent tout sur leurs clients, ou presque. Une mine d'or meilleure que jamais à exploiter". Dans ce contexte, nous signalons qu'il n'existe aucune organisation qui peut collecter les données personnelles de ses clients mieux que les banques. La collecte et l'analyse de ces données peuvent constituer un élément clé dans la prise de décision, en particulier dans le secteur bancaire [1]. A la question sur la manière d'analyser ces données, la réponse est l'Intelligence Artificielle (IA) ou plus précisément l'apprentissage automatique.

Les banques peuvent utiliser l'intelligence artificielle pour transformer l'expérience des clients en permettant des interactions entre eux sans friction 24 heures sur 24. De plus, les autres services financiers pourraient également bénéficier de l'évolution de l'IA. Dans ce cadre, l'utilisation de l'IA et de l'apprentissage automatique peuvent optimiser les ressources des entreprises en termes du temps et de l'argent [3]. En outre, ces deux approches peuvent ouvrir des nouvelles perspectives pour classer d'une façon efficace les données. Dans les secteurs bancaires et financiers, le machine Learning qui représente une technologie d'intelligence artificielle, est largement utilisé aujourd'hui dans plusieurs champs applications. Parmi ces applications, nous citons la gestion de portefeuille, le trading, la détection de fraude et l'approbation de crédit. A titre d'exemples, les techniques de l'intelligence artificielle sont déjà utilisées pour créer le "robo-adviser". Ce dernier représente un système de portefeuille intelligent capable de s'adapter aux risques et aux objectifs de l'utilisateur. Les systèmes de support décisionnel ou Algorithmic Trading, sont utilisés pour prendre des décisions extrêmement rapides [4]. Pour la détection et prévention de fraudes, le Machine Learning a ouvert la voie pour développer des nouvelles méthodes prometteuses qui permettent d'analyser le comportement des utilisateurs et détecter s'il y a une fraude ou non [5] [6] [7]. Les fournisseurs de prêts, en particulier les grandes entreprises telles que les banques et les sociétés d'assurance, utilisent des données volumineuses concernant leurs clients, leurs transactions ainsi que les résultats de prêts financiers. Ces données réelles peuvent être utilisées pour développer et optimiser des algorithmes de Machine Learning afin de prendre des décisions pertinentes en matière de crédit, d'assurance et détection de fraude [8] [10] [9].

Dans ce chapitre, nous nous focalisons sur deux problèmes majeurs qui menacent le secteur bancaire. Le premier concerne l'approbation de crédit, le deuxième concerne la détection de fraude à la carte. Pour cela, notre premier objectif consiste à améliorer la prise de décision en matière d'approbation de crédit, en utilisant les données personnelles des clients, afin de déterminer si un particulier ou une entreprise est solvable ou non. Notre deuxième objectif consiste à mettre en place un système d'alerte intelligent pour la détection de transactions frauduleuses.

L'approbation de prêt et la détection transaction frauduleuse sont considérées comme un problème de classification binaire. En effet, les données de demandeurs de prêt ou les données d'une transaction sont analysées et classées en deux classes "bon" ou "mauvais". La classification binaire est un cas simple de classification, elle permet de classer les données en deux classes, en fonction de certaines caractéristiques. Elle est principalement utilisée dans les situations où nous voulons prédire un résultat spécifique, qui ne peut prendre que deux valeurs distinctes. Certains exemples typiques incluent le diagnostic médical, la détection de spam, la détection

de fraude ou encore l'approbation de prêt. Bien que relativement simple, la classification binaire est un problème fondamental. Il existe de nombreux paradigmes utilisés pour l'apprentissage des classificateurs binaires, tels que : arbres de décision, réseaux de neurones, classification bayésienne, machines à vecteurs de support (SVM), régression logistique, K voisinage plus proche, etc. [11]. De plus, le Deep Learning [14] représente une nouvelle technologie émergente qui permet d'assurer la meilleure précision et la meilleure exactitude pour de nombreux problèmes, notamment en classification binaire. Dans la section suivante, nous présentons les différents algorithmes du machine learning qui ont été récemment proposés dans la littérature dans le contexte de l'approbation de prêt et la détection de fraude.

8.2 État de l'art

Dans le domaine financier, la prise de décision dans certain situations peut être une tâche difficile lorsque la taille des données a traité est importante. Dans ce cadre, plusieurs algorithmes basés sur le machine learning ont été proposés dans la littérature pour résoudre ce problème. Parmi ces algorithmes, nous citons : la régression logistique, les machines à support de vecteurs (SVM) et les réseaux de neurones artificiels (RNA), etc. Dans cette section nous nous concentrons sur les travaux de recherche qui sont publiés dans le contexte de l'approbation d'un prêt et la détection de fraude.

8.2.1 Les algorithmes du machine learning pour l'approbation de crédit

Selon la référence [17], les modèles statistiques sont les plus répandus pour explorer les données financières, y compris les techniques de régression, les techniques d'analyse discriminante simple et multiple, et les techniques probabilistes, etc. La régression linéaire [18] est l'une des techniques classiques de la régression qui consiste à prédire un attribut continu. Cet attribut prédit peut prendre une dimension infinie des valeurs. Tandis que la régression logistique [15] est une méthode qui permet de prédire un attribut discret. De plus, la régression logistique sera très utile pour prédire la présence ou l'absence d'une caractéristique ou d'un résultat en fonction d'un ensemble de variables prédictives. Dans la référence [10], les autres ont comparé les différents algorithmes de classification binaire proposés dans la littérature pour l'évaluation de crédit. D'après cette étude comparative, la régression logistique s'est révélée être la méthode la plus précise par rapport aux autres algorithmes.

En revanche, les machines à support de vecteurs (SVM) [16] représentent une classe des algorithmes d'apprentissage automatique supervisé qui consistent à résoudre des problèmes de prévision d'une variable qualitative binaire. Ils ont été ensuite généralisés pour prédire une variable quantitative. Le principe de base de l'approche SVM, consiste à trouver l'hyperplan de marge optimale qui permet de classer correctement les données tout en étant le plus éloigné possible de toutes les observations. Ces dernières années, de nombreux chercheurs ont appliqué l'approche SVM pour résoudre les problèmes de classification binaire dans le secteur financier [22]. Les auteurs Sheng-Tun Li et al. [21] ont présenté une évaluation des prêts à la consommation en utilisant l'approche SVM. Cette évaluation permet de surmonter l'optimum excessif et local dans les modèles basés sur les réseaux neurones artificielles.

En outre, un réseau de neurones artificiels (RNA) [23] est une méthode de l'intelligence artificielle dont la conception est inspirée du fonctionnement des neurones dans le cerveau humain. Un réseau neuronal est l'as-

sociation, en un graphe plus ou moins complexe, d'objets élémentaires, qui forment des neurones formels. Ces neurones interconnectés sont conçues pour faire des calculs mathématiques afin d'optimiser des problèmes complexes. Dans ce contexte, les auteurs Landi et al. [10] ont présenté une analyse comparative détaillée concernant cinq modèles de l'approche RNA : apprentissage de la quantification vectorielle, perceptron multi-couches, résonance adaptative floue, mélange d'experts et fonction de base radiale. A l'issue de cette analyse, les auteurs ont démontré que le perceptron multicouche n'est pas le modèle de réseau neuronal le plus précis, et que les modèles de réseau neuronal à fonction de base pourraient être envisagés pour ce type de problèmes. Dans la référence [8], les auteurs ont utilisé un réseau de neurones à back-propagation fonctionnant sur un ordinateur personnel DOS avec 125 demandeurs de crédit dont les résultats de prêt sont connus. Les caractéristiques du demandeur sont décrites en tant que des neurones d'entrée, recevant les valeurs des informations démographiques et de crédit des individus. Les résultats de simulation ont montré que la méthode proposée permet d'assurer un taux d'exactitude de 76% à 80% de l'échantillon utilisé.

Ces dernières années, avec le battage publicitaire entourant le Deep Learning [35], de nombreux travaux dans plusieurs domaines de recherche ont été basés sur cette nouvelle approche du Machine learning. Malgré que le Deep learning a prouvé des résultats prometteurs par rapport aux algorithmes classiques du Machine learning, l'utilisation et l'analyse de divers paradigmes de cette nouvelle approche restent à explorer. Dans la référence [30], les auteurs ont développé un nouveau système de prêt peer-to-peer appelé DeepCredit. Ce nouveau système est basé sur une architecture Deep Learning et acquiert une connaissance du risque de crédit qui forme automatiquement la séquence des activités menées par les utilisateurs sur le site. Les résultats de simulation ont prouvé que le système DeepCredit permet de prédire avec une grande précision les risques liés aux prêts douteux ou non. Dans un autre travail récent [31], les auteurs ont proposé un algorithme du deep learning qui utilise un perceptron multi-couches avec 2 couches cachées, pour prédire l'approbation de prêt. L'algorithme proposé a été implémenté et testé sur des données bancaires. Les résultats expérimentaux ont montré que cet algorithme permet de fournir de meilleures performances par rapport aux autres classificateurs traditionnels.

8.2.2 Les algorithmes du machine learning pour la détection de fraude

Au cours de ces dernières années, les fraudes à la carte bancaire ne cessent d'augmenter. Les fraudeurs ont tellement de talent pour créer chaque jour des nouvelles méthodes pour effectuer des transactions frauduleuses. Pour cela, plusieurs algorithmes basés sur l'apprentissage automatique ont été proposés dans la littérature afin de lutter contre ce fameux problème. Dans la référence [19], les auteurs ont présenté une analyse comparative entre trois algorithmes : le SVM, les forêts aléatoires et la régression logistique. Les résultats numériques ont montré que la régression logistique permet de fournir de meilleure performance par rapport aux deux autres algorithmes. Les auteurs Y. Sahin et al. [20] ont montré les avantages de l'utilisation des techniques d'exploration de données, notamment l'approche SVM, afin de surmonter le problème de la détection et réduire les risques bancaires. En outre, Whitrow et al. [24] ont comparé l'approche SVM avec les arbres de décision afin de résoudre le problème de la fraude à la carte en mettant l'accent sur l'agrégation des variables transactionnelles communes pour créer de nouvelles entrées.

Les auteurs Ghosh et al. [25] ont proposé une solution qui repose sur l'approche RNA afin de minimiser le risque de la fraude à la carte de crédit. Le réseau neuronal utilisé exploite plusieurs transactions bancaires étiquetées et testées sur un ensemble de données de rétention couvrant toute l'activité du compte durant une

période de deux mois. Les résultats de simulation ont prouvé que la solution proposée permet de fournir de meilleurs résultats concernant la détection de fraude par rapport aux méthodes traditionnelles. Les auteurs Aleskervi et al. [26] ont développé un système intelligent appelée cardwatch. Ce système repose sur un réseau de neurones artificielles, formé à partir des données historiques des clients. De plus, ce réseau permet de détecter les anomalies possibles en traitant la transaction d'un client spécifique. Les auteurs Dorrnonso et al. [27] ont présentés un système en ligne pour la détection de fraude à la carte de crédit en utilisant un classificateur neuronal. Le système a été installé dans un hub transactionnel et s'appuie sur les informations de l'opération et son historique précédent. Une version non linéaire de l'analyse discriminante de Fisher a été utilisée pour surmonter le déséquilibre du taux des opérations normales et frauduleuses. Dans la référence [28], les auteurs ont développé un nouveau modèle de détection de fraude à la base de l'extraction fréquente de plusieurs documents. Les auteurs [29] ont proposé un algorithme qui utilise les réseaux de neurones feed-forward pour détecter les transactions frauduleuses.

Enfin, nous notons qu'il n'y a pas beaucoup de travaux explorant cette approche pour la détection de fraude à la carte bancaire. À notre connaissance, les références les plus citées dans ce contexte sont [32], [33], et [34]. Dans la référence [32], les auteurs ont proposé un réseau de neurones conventionnel qui représente un réseau inspiré de réseau de neurones du cortex visuel des animaux. Cette approche est appliquée sur un ensemble de données de transactions par carte. Les résultats numériques ont montré que l'approche proposée permet de minimiser le risque de la fraude par rapport aux algorithmes classiques. Dans [33], les auteurs ont proposé un modèle de Markov caché pour la détection de fraude dans le commerce électronique. Cette méthode permet de détecter 80% des transactions frauduleuses. Dans la référence [34], les auteurs ont montré que la méthode d'apprentissage profond basée sur un auto-encodeur permet de fournir de meilleurs résultats par rapport aux arbres amplifiés en gradient.

Ainsi, d'après cette revue de la littérature consacrée aux problèmes de l'approbation de crédit et la détection de fraude, il n'y a effectivement pas beaucoup de travaux qui traitent ces deux problèmes en utilisant le Deep Learning. Par ailleurs, la majorité des algorithmes proposés ne prennent pas en considération le paradigme du temps réel. Dans cette contribution, nous proposons une nouvelle architecture qui repose sur le Deep Learning afin de minimiser les deux risques : l'approbation d'un prêt et la détection de fraude. De plus, nous nous intéressons à l'intégration du traitement de données en temps réel dans notre architecture proposée. En effet, le traitement de données en temps réel (RealTime Data Processing) est devenu un domaine de recherche important. Nous parlons de données en temps réel lorsque les informations sont livrées directement après leur collecte, ce qui rend la précision du temps des données dépendante. John A. Stankovic (1988) a décrit un système en temps réel : "Un système qui contrôle un environnement, en recevant des données, en les traitant et en renvoyant les résultats suffisamment rapidement pour affecter l'environnement à ce moment-là" [13]. Dans la section suivante, nous exposons le principe et le fonctionnement de notre architecture proposée.

8.3 Notre architecture de classification en temps réel

8.3.1 Modèle de prediction

Notre architecture [41][42] proposée pour assurer la classification des données en temps réel est constituée de deux modèles. Le premier modèle est un système de prédiction, capable d'améliorer la prise de décision

concernant le problème de prêt de crédit, quant au second, il s'agit d'un système de prédiction capable de réduire les risques relatifs aux fraudes à la carte bancaire. La figure 8.1 montre le schéma qui représente le noyau de cette architecture. Par ailleurs, pour chaque modèle de cette nouvelle architecture, nous avons introduit le deep learning comme une nouvelle méthode de classification binaire. Le processus de mise en oeuvre de notre architecture contient les quatre phases suivantes : la construction des données, la modélisation, l'évaluation et le déploiement.

Dans la première phase, on regroupe les activités liées à la construction de l'ensemble précis des données à analyser, faite à partir des données brutes. Cette phase permet également de transformer les données en caractéristiques (features) et étiquettes (labels). La deuxième phase de modélisation comprend le choix, le paramétrage et le test de différents algorithmes ainsi que leur enchaînement, qui constitue un modèle. Autrement dit, dans cette phase, les données obtenues dans la première phase sont scindées en deux ensembles : test et entraînement. Par la suite, nos modèles sont construits avec les features et les labels d'apprentissage. Nous notons que dans cette phase on a utilisé l'algorithme de réseau de neurones profond (Deep Neural network). Nous signalons que cette deuxième phase sera bien détaillée par la suite. La troisième phase d'évaluation, consiste à vérifier les deux modèles proposés afin de s'assurer qu'ils répondent aux nos deux objectifs concernant l'approbation d'un prêt et la détection de fraude. Pour cela, nous testons les deux modèles proposés avec les fonctions de test pour obtenir nos premières prédictions, puis comparons les prédictions avec nos labels de test. Le processus est refait plusieurs fois jusqu'à ce que nous soyons satisfaits de la précision des modèles. La quatrième phase de déploiement, représente l'étape finale du processus. Elle consiste en une mise en production pour les utilisateurs finaux des modèles obtenus. Son objectif : mettre la connaissance obtenue par la modélisation, dans une forme adaptée, et l'intégrer au processus de prise de décision.

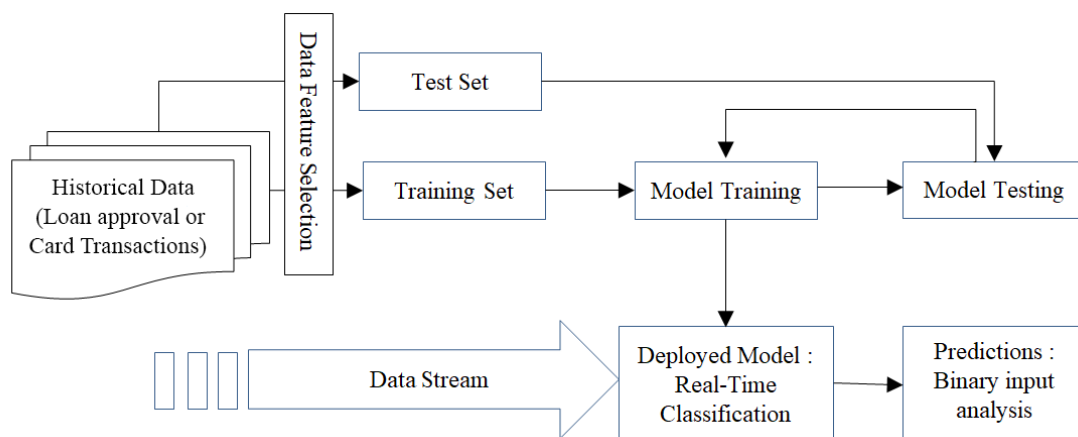


FIG. 8.1 – Notre architecture du modèle de classification en temps réel

8.3.2 Deep auto-encoder

Pour notre Deep Neural network, nous avons utilisé un auto-encoder, ce dernier représente un réseau de neurones qui se caractérise par une entrée et une sortie ayant le même le nombre de neurones (voir Fig. 8.2). L'auto-encoder est composé de deux parties, l'encodeur et le décodeur :

8.3. NOTRE ARCHITECTURE DE CLASSIFICATION EN TEMPS RÉEL

- Encodeur : Cette partie du réseau est appelée le point de compression maximum (bottleneck), elle permet de compresser au maximum les données d'entrée. Nous appelons ces bits compressés un encodage de l'entrée.
- Décodeur : Cette partie permet reconstruire l'entrée en utilisant le codage de l'entrée. Nous considérons qu'un codage est réussi lorsque le décodeur est capable de reconstruire l'entrée exactement telle qu'elle est entrée dans le codeur.

Dans ce travail, nous utilisons la fonction tangente hyperbolique "tanh" pour le codage et le décodage. L'expression de la fonction de l'encodeur est exprimée par l'équation suivante :

$$h(x) = \tanh(W_x) \quad (8.1)$$

La fonction concernant le décodeur est exprimée par l'équation suivante :

$$\hat{x} = \tanh(W * h(x)) \quad (8.2)$$

La reconstruction d'erreur se fait par back-propagation, cela signifie que le signal d'erreur est calculé et propagé en arrière dans le réseau. Les erreurs formées par les valeurs de sorties souhaitées sont utilisées comme condition. Le paramètre gradient est utilisé pour la réalisation de la back-propagation.

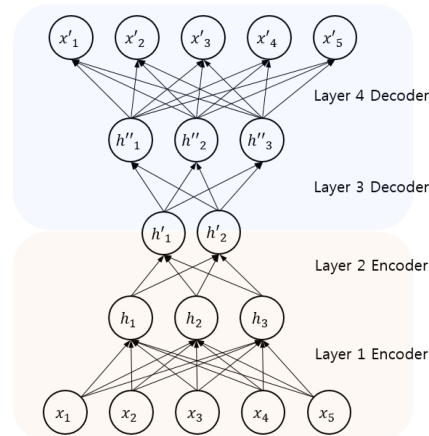


FIG. 8.2 – Auto-encoder

8.3.3 Deep Neural network

Pour notre Auto Encoder deep neural network, nous avons utilisé 3 encodeurs et 3 décodeurs (6 couches cachées). Chaque couche cachée notée par L1, L2, etc, peut contenir un certain nombre de neurones. La composition du réseau de neurones est illustrée dans la figure 8.3. Vu que les métriques de la fonction d'activation "Tanh" sont élevées, nous avons utilisé cette fonction dans chaque couche cachée.

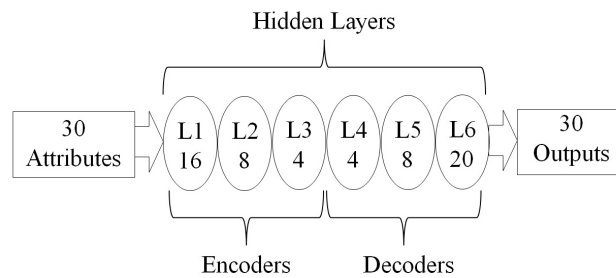


FIG. 8.3 – Composition de notre réseau de neurones

8.4 Évaluation expérimentale

8.4.1 Implémentation de notre architecture

La figure 8.4 présente la démarche suivie pour l’implémentation de notre architecture de classification en temps réel. Les différentes technologies utilisées lors de cette implémentation sont : Tensorflow, Kafka et Memsql. La technologie TensorFlow est un logiciel libre dédié pour implémenter les différents algorithmes du Machine Learning. Cette technologie représente une bibliothèque mathématique symbolique, utilisée aussi comme un système de construction et d’apprentissage de réseaux de neurones pour détecter et déchiffrer des modèles et des corrélations. [36], tandis que la technologie Keras représente une bibliothèque de réseau de neurones open source, écrite en Python. Cette technologie est capable de fonctionner sur MXNet, Deeplearning4j, Tensorflow, CNTK ou Theano [37]. Pour la troisième technologie Kafka, est une plate-forme de streaming distribuée Apache. C’est un outil utile pour créer des real-time streaming data pipes lines, qui permettent de transférer des données de manière fiable entre les systèmes. Il est également utilisé pour créer des applications de streaming en temps réel qui transforment et réagissent aux flux de données. Enfin, Memsql est une base de données SQL. Nous avons choisi cette distribution pour sa large utilisation avec Apache Kafka et pour la richesse de documentation disponible sur son implémentation.

Pour toutes les expériences réalisées, nous avons utilisé les environnements suivants : Python 3.5, Back-end Keras over Tensorflow, GPU GTX 660, et Mémoire 8 Go.

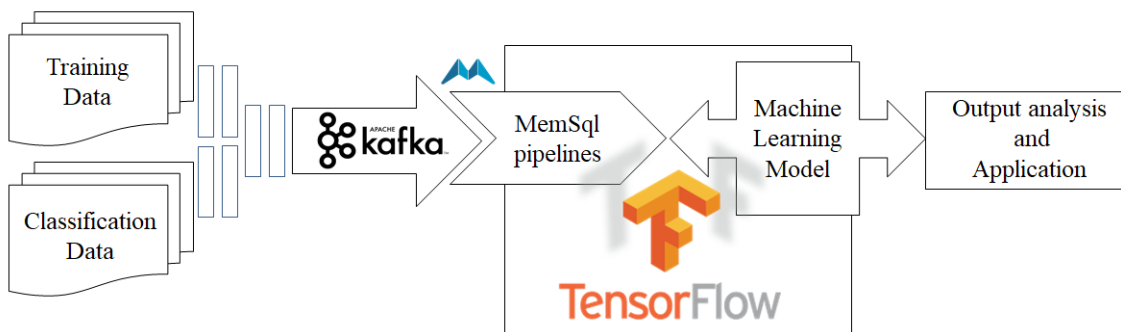


FIG. 8.4 – La démarche de d’implémentation de notre architecture de classification

8.4.2 Datasets

8.4.2.1 Données relatives aux demandes de crédit

Le Data set utilisé est le German Credit, accessible au public à partir du référentiel de machine-learning UCI [38]. Les spécifications de données sont indiquées dans le tableau 8.1 et la description de ses attributs dans le tableau 8.2.

TAB. 8.1 – Data-set features

Data set	Caractéristiques	Multivariées
Attributs	caractéristiques	Catégorique, Integer
Taches	associées	Classification
Nombres d'instances		1000
Nombres d'attributs		20
Valeurs manquantes		N/A

Toutes les valeurs ont été changées en nombres entiers pour des raisons de confidentialité. Les attributs de données sont classés en nombres, voir la colonne "Type" dans Tab. 8.2

TAB. 8.2 – attributs du Data-set

Variable name	Description	Type
Creditability	Yes, No	0 or 1
Account Balance	No account, None, Some Balance	1, 2, 3
Duration	In month	Integer
Payment Status of Previous Credit	Some Problems, Paid Up, No Problems	1, 2, 3
Purpose	New car, Used car, Home Related, Other	1, 2, 3,..10
Credit Amount	Amount	Integer
Value Savings/Stocks	None, Below 100 DM, [100,1000] DM, Above 1000 DM	0, 1, 2, 4
Length of current employment	In years	Integer
Instalment per cent	percentage	0 - 100
Sex & Marital Status	Male Divorced/Single, Male Married/Widowed, Female	1, 2, 3, 4, 5
Guarantors	None, Yes	0 or 1
Duration in Current address	In years	Integer
Most valuable available asset	Amount	Integer
Age	Years	Integer
Concurrent Credits	Other Banks or Dept Stores, None	Integer
Type of apartment	dropped	None
No of Credits at this Bank	1, More than 1	Integer
Occupation	Type of occupation	Integer
No of dependents	dropped	None
Telephone	dropped	None
Foreign Worker	Yes, No	0 or 1

Cet ensemble de données permet de classer les personnes décrites, par un ensemble d'attributs selon leur crédibilité, bonne ou mauvaise. La Figure 8.5 montre la distribution des données. Nous remarquons que les données sont bien équilibrées.

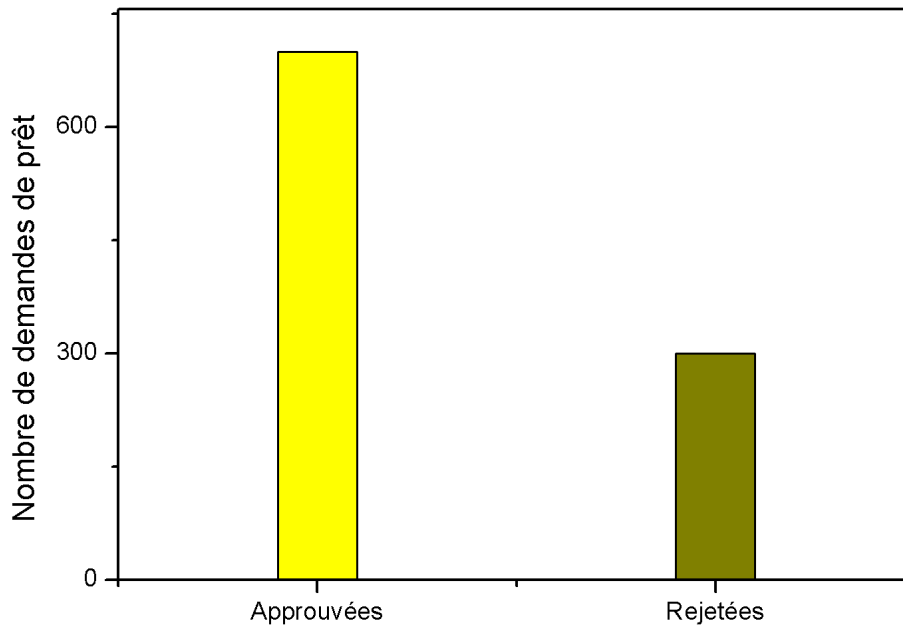


FIG. 8.5 – Distribution du Data-set

Afin de vérifier la performance du modèle pré-apprentissage, nous avons divisé les données en deux ensembles d'apprentissage distincts et un ensemble de test indépendant pour la comparaison finale du modèle. Le tableau 8.3 indique la distribution des instances concernant notre modèle.

TAB. 8.3 – Distribution des instances

Nombre d'instances	1000
Nombre d'instances du Pre-training	400
Nombre d'instances du Training	400
Nombre d'instances de Test	100

8.4.2.2 Données relatives aux transactions bancaires

L'ensemble de données utilisées dans le deuxième modèle, contient les transactions effectuées en septembre 2012 par des cartes européennes, rassemblées et analysées au cours d'une collaboration de recherche entre Worldline et le Machine Learning Group de l'ULB sur l'extraction de Big Data et la détection de fraude. Il est disponible gratuitement sur Kaggle. Le tableau 8.4 présente les caractéristiques de cet ensemble.

Les données ne contiennent que des valeurs numériques, afin d'assurer la confidentialité des données, les valeurs ont été modifiées par la transformation PCA (Principal component analysis). Les attributs Time et Amount n'ont pas été transformés et toutes les autres attributs sont représentées par les valeurs V0, V1, ... V26. Le tableau 8.5 indique les nouvelles valeurs de différents attributs.

TAB. 8.4 – Caractéristique du Data-set

Data set Caractéristiques	Multivariées
Attributs caractéristiques	Catégorique, Integer
Taches associées	Classification
Nombres d'instances	284807
Nombres d'attributs	30
Valeurs manquantes	N/A

TAB. 8.5 – Attribues du dataset

Nom Variables	Description	Types
V0, V1, ..., V26	Features après PCA	Integer
Time	Temps entre les transactions	Integer
Amount	Montant de transactions	Integer
Class	Non fraudulente ou fraudulente	0 or 1

Cet ensemble de données classe les transactions en fonction de leur nature : frauduleuse ou non. Nous avons 492 fraudes sur 284807, ce qui est très déséquilibré avec un taux de 0,173 %. Pour résoudre ce déséquilibre de classe, nous avons utilisé l'algorithme Random over-Sampling. La figure 8.6 montre la nouvelle distribution des données après l'utilisation de l'Over-sampling. Nous avons utilisé le même ratio pour la répartition des données pour la phase d'apprentissage et la phase de test.

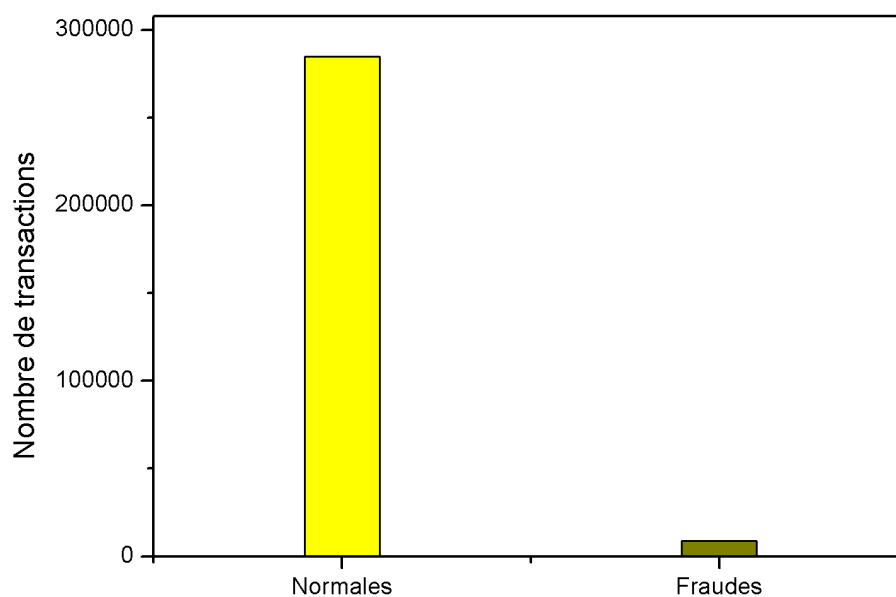


FIG. 8.6 – Data set distribution Over-Sampled, the fraud class counts for 3,1% of all transactions

8.4.3 Paramètres d'évaluation de performances

En général, les métriques de performances permettent d'évaluer l'efficacité et l'adaptabilité de différents algorithmes. Dans cette contribution, nous évaluons la performance de notre architecture de classification binaire en termes de quatre métriques d'évaluation du machine learning : l'exactitude (Accuracy), la précision (Precision), le rappel (Recall) et le score F1 (F1Score). Ces différentes métriques sont calculées à partir de la matrice de confusion qui indique le nombre d'instances classées correctement ou incorrectement dans chaque classe. La figure 8.7 illustre la matrice de confusion d'un classificateur binaire. Chaque métrique du Machine learning peut être décrite brièvement comme suit :

- L'exactitude : ce paramètre est défini comme étant le nombre de prévisions correctes divisé par le nombre total de prévisions effectuées. La valeur de ce paramètre est exprimée comme suit :

$$Accuracy = (Tp + Tn)/(Tp + Tn + Fp + Fn). \quad (8.3)$$

- La précision : ce paramètre est défini comme le nombre de prédictions positives divisé par le nombre total de classes positives prédites par le modèle. La valeur de paramètre est calculée en utilisant la formule suivante :

$$Precision = Tp/(Tp + Fp) \quad (8.4)$$

- Le rappel : ce paramètre est défini comme le nombre de prédictions positives divisé par le nombre de valeurs de classe positives des données de test. Il est obtenu à l'aide de l'équation suivante :

$$Recall = Tp/(Tp + Fn) \quad (8.5)$$

- Le score F1 : ce paramètre permet d'exprimer l'équilibre entre la précision et le rappel. Il est calculé comme suit :

$$F1Score = 2((precision * recall)/(precision + recall)). \quad (8.6)$$

Chaque algorithme a été testé quatre fois et nous avons présenté le résultat moyen. Pour cela, nous avons créé une matrice de confusion en utilisant les valeurs TP, FN, FN et TN.

		<i>Predicted class</i>	
		<i>P</i>	<i>N</i>
<i>Actual Class</i>	<i>P</i>	True Positives (TP)	False Negatives (FN)
	<i>N</i>	False Positives (FP)	True Negatives (TN)

FIG. 8.7 – Illustration de matrice de confusion

8.4.4 Paradigms

Afin de valider notre architecture de classification qui contient le modèle prédictif de l'approbation de crédit et le modèle prédictif de fraude, nous avons mené deux expériences en temps réel. Dans la première expérience,

nous comparons la performance de notre premier modèle prédictif qui repose sur le deep learning par rapport aux quatre algorithmes : l’algorithme SVM, l’algorithme RL, l’algorithme RNA-BP, l’algorithme RNA-ANL, tandis que dans la deuxième expérience, nous suivons la même démarche pour valider notre deuxième modèle prédictif de la détection de fraude. Nous décrivons brièvement le principe de ces cinq techniques ci-dessous :

- Notre approche : cette technique de classification représente notre modèle proposé qui repose sur l’auto-encodeur.
- SVM : cette technique représente l’algorithme classique de classification qui utilise l’approche SVM pour classer les données.
- RL : cette technique représente l’algorithme classique de classification qui utilise l’approche régression linéaire pour classer les données.
- RNA-BP : cette technique représente l’algorithme classique de classification qui utilise un réseau neuronal de propagation arrière.
- RNA-ANL : cette technique représente l’algorithme classique de classification qui utilise un réseau neuronal non linéaire auto régression pour classer les données.

Dans chaque expérience, les cinq algorithmes ont été exécutés et testés quatre fois, dans l’objectif de construire la matrice de confusion en utilisant la moyenne des valeurs obtenues dans chaque exécution. De plus, la comparaison de performance se fait au niveau de quatre aspects : l’exactitude, la précision, le rappel et le score F1.

8.4.5 Résultats expérimentaux

8.4.5.1 Expérience 1

Dans cette expérience, nous validons l’efficacité de notre modèle prédictif de l’approbation de crédit. Le tableau 8.6 montre la matrice de confusion relative aux cinq techniques de la classification des données concernant la demande de crédit. D’après ce tableau, nous remarquons que notre approche basée sur le Deep Learning permet de fournir la plus grande valeur concernant le paramètre TP, quant à la mauvaise performance, elle est donnée par l’algorithme RNA Back-propagation. De plus, nous remarquons que notre modèle permet de minimiser le paramètre TN mieux que les autres algorithmes classiques. En nous basant sur cette première analyse concernant la matrice de confusion, nous pouvons déduire que les premiers résultats semblent prometteurs concernant notre modèle de l’approbation de crédit. Nous confirmerons par la suite ces résultats obtenus en évaluant les cinq algorithmes de classification en termes de différentes métriques d’évaluation.

TAB. 8.6 – Matrice de confusion pour les données de l’approbation de crédit

	TP	FP	TN	FN
Linear SVM Regression	60	10	26	4
Logistic Regression	58	13	25	5
NN Based Classification	54	18	22	7
Non Linear Auto Regression	59	12	25	5
Deep NN Auto encoders	61	9	26	4

La figure 8.8 présente l'exactitude de différents algorithmes de classification appliqués aux données de de l'approbation de crédit. Nous remarquons que l'algorithme SVM fournit la meilleure performance avec une valeur 87.2% concernant ce paramètre. Nous observons également que notre modèle proposé vient en deuxième rang concernant l'exactitude avec une valeur de 86.1%. La mauvaise performance de ce paramètre est donnée par la méthode de classification basée sur le RNA Back propagation.

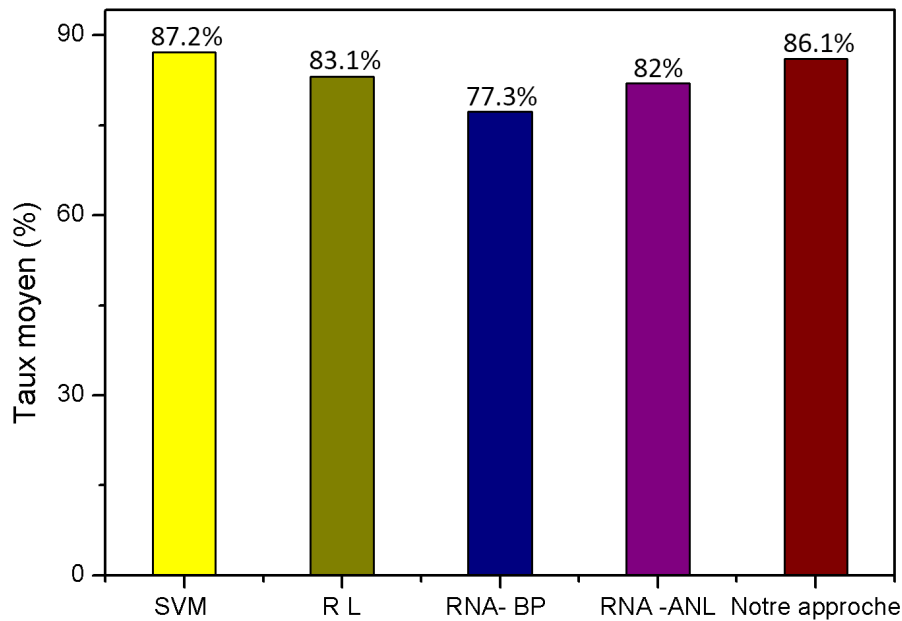


FIG. 8.8 – Comparaison de l'exactitude de différents algorithmes appliqués aux données de prêts

La figure 8.9 présente la précision moyenne concernant les différents algorithmes appliqués aux données d'approbation de prêts. La meilleure valeur en précision est donnée par notre modèle basé sur l'apprentissage profond avec une valeur de 87.1%. Tandis que, l'algorithme SVM vient en deuxième position avec une valeur de 85.7%. En outre, l'algorithme RNA Back-propagation fournit la mauvaise performance avec une valeur de 77.1%.

La figure 8.10 présente le rappel de différents algorithmes de classification appliqués aux données de l'approbation de crédit. Selon cette figure, nous notons que notre modèle et l'algorithme SVM assurent la plus grande valeur de 93.8%. La pire performance est donnée par l'algorithme RNA auto régressif. En nous basant sur l'analyse de la précision et du rappel, nous pouvons conclure que notre modèle, qui présente la meilleure performance en précision et en rappel, est très prometteur pour minimiser le risque d'approbation de crédit.

Afin de valider notre expérience et assurer l'équilibre entre la Précision et le Recall, la figure 8.11 montre le F1 score pour les différents algorithmes. Nous remarquons que notre modèle présente le meilleur score avec une valeur de 90.4%, au deuxième rang, on trouve l'approche SVM avec une valeur de 89.6%. Le pire score, est donné par l'algorithme RNA Back-propagation.

Vu que la taille du jeu de données utilisées dans cette expérience est petite, et afin de valider la stabilité de nos résultats, nous avons utilisé une validation croisée à 8-fold sur notre modèle. Le résultat est présenté dans le tableau 8.7. Nous remarquons que la performance du modèle est translaté sur la totalité des données avec une

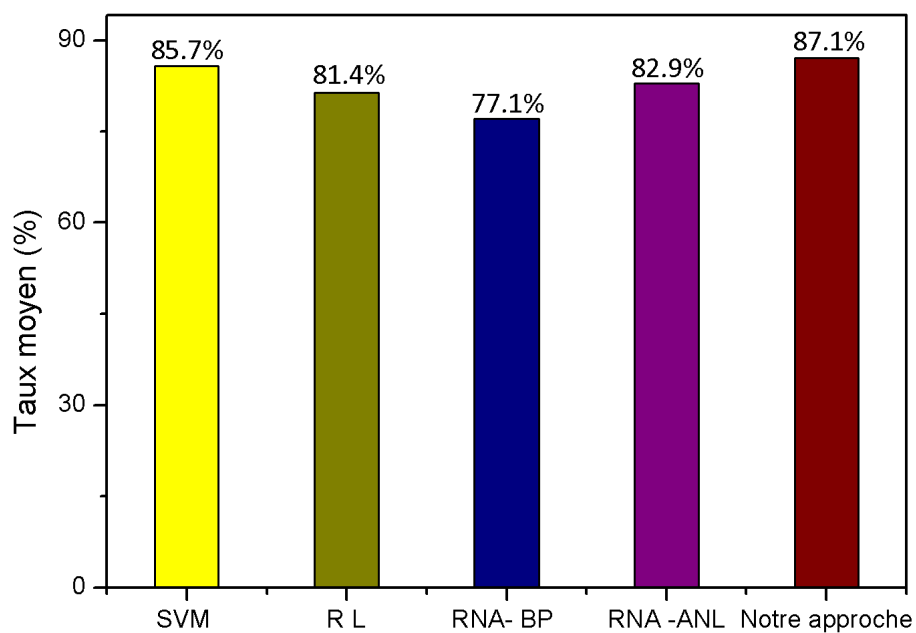


FIG. 8.9 – Comparaison de la précision de différents algorithmes appliqués aux données de prêts

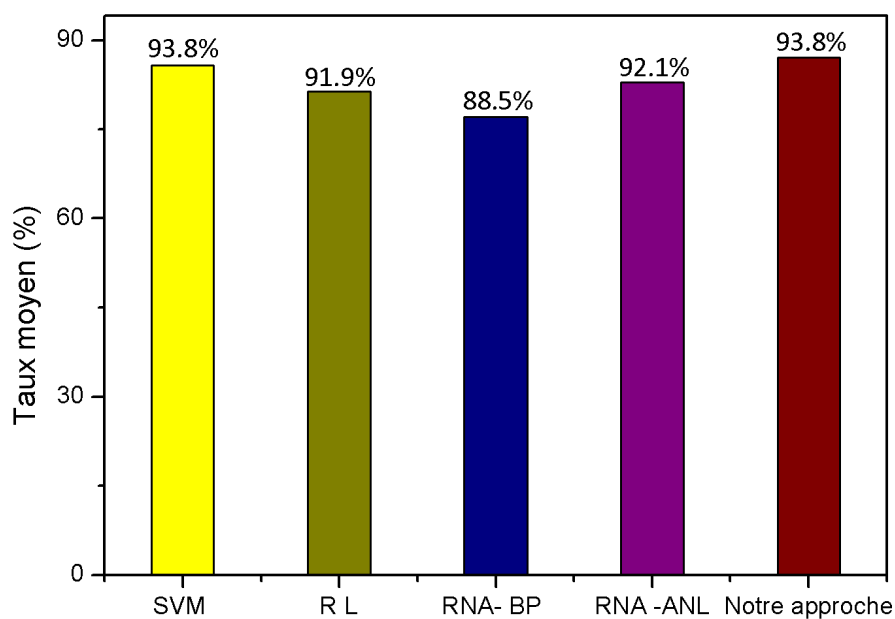


FIG. 8.10 – Comparaison du rappel de différents algorithmes appliqués aux données de prêts

erreur moyen de 15.6%. Nous confirmons donc que les performances de notre modèle qui repose sur l'Auto Encodeur profond, sont très promoteurs pour cette application aux données d'approbation de prêts.

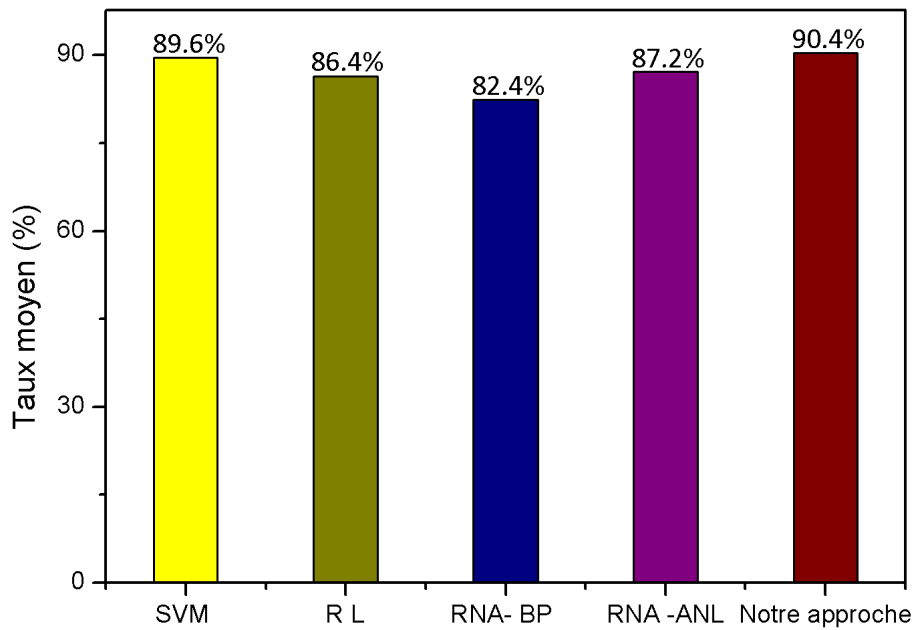


FIG. 8.11 – Comparaison de F1 score de différents algorithmes appliqués données de prêts

TAB. 8.7 – Deep learning with auto-encoder 8-fold cross validation)

False	Number of instance	error
138	948	0.14556
160	951	0.16824
171	942	0.18152
131	936	0.13995
144	934	0.15478
141	949	0.14892
150	925	0.16243
137	934	0.14763
	Error Average	0.15612

8.4.5.2 Expérience 2

Dans cette expérience, nous validons l'efficacité de notre modèle prédictif de la détection de fraude. Le tableau 8.8 montre la matrice de confusion concernant les cinq techniques de classification des données de la détection de fraude. Nous remarquons que la plus grande valeur pour le paramètre TP est donnée par l'approche SVM et la plus grande valeur pour le paramètre TN est aussi donnée par l'approche SVM. Pour l'interprétation réelle de ces deux valeurs, nous pouvons confirmer que l'approche SVM permet détecter le plus grand nombre de transactions frauduleuses. De plus cette approche génère la plus grande valeur concernant les fausses alarmes. En outre, la technique de la régression logistique a généré le plus petit nombre de fausses alarmes mais les autres paramètres ne sont pas bien équilibrés. Pour cela, cette approche n'est pas la meilleure

solution pour détecter les transactions frauduleuses. En revanche notre modèle basé sur le Deep Learning et l'auto-encodeur, présente des résultats équilibrés, avec un bon nombre de fraudes détectées et un bon nombre de fausses alarmes.

TAB. 8.8 – Matrice de confusion pour les données de fraudes

	TP	FP	TN	FN
Linear SVM Regression	341	2111	115173	234
Logistic Regression	302	1290	116002	270
NN Based Classification	384	2229	115049	198
Non Linear Auto Regression	430	3871	113408	151
Deep NN Auto encoders	358	1457	115793	257

La figure 8.12 présente l'exactitude de différents algorithmes de classification appliqués aux données de fraudes. nous remarquons que la technique RL permet de fournir la meilleure performance, au deuxième rang, on trouve notre approche basée sur l'auto-encodeur. La mauvaise performance de l'exactitude est donnée par la méthode RNA-BP. Malheureusement, malgré les résultats obtenus en termes d'exactitude, nous ne pouvons pas les confirmer. En effet, le paradoxe de l'exactitude [42], peut survenir, vu le déséquilibre des données utilisées. Mais, afin de surmonter cette limitation, nous analyserons les autres paramètres d'évaluation.

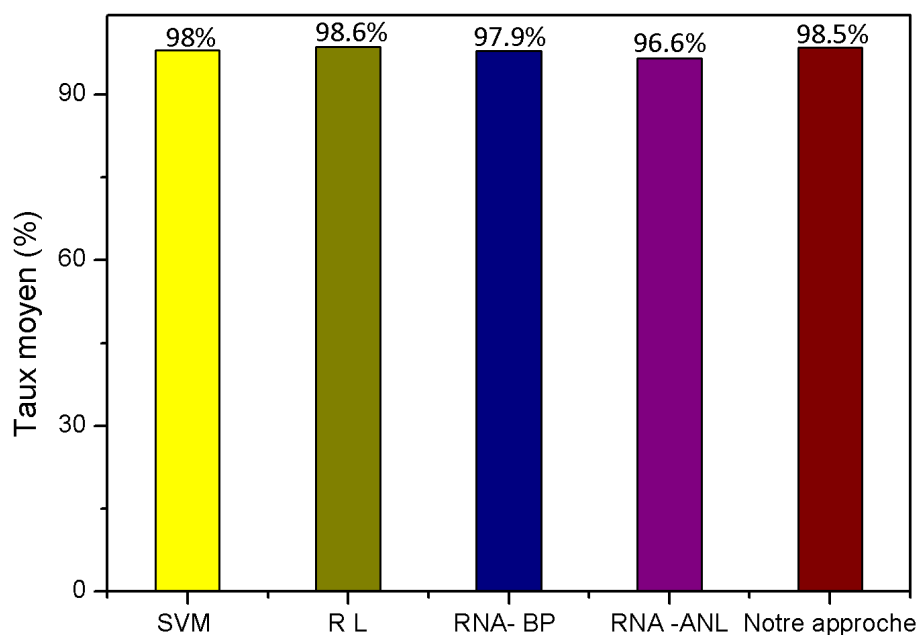


FIG. 8.12 – Comparaison de l'exactitude de différents algorithmes appliqués aux données de fraudes

La figure 8.13 présente la précision obtenue par les différents algorithmes appliqués aux données de fraudes. Nous remarquons que, notre approche proposée fournit la meilleure précision, avec une valeur de 19.7%. Au deuxième rang, on trouve l'algorithme RL avec une valeur de 19%. L'algorithme RNA-ANL, fournit la plus mauvaise performance avec une valeur de précision égale à 10%.

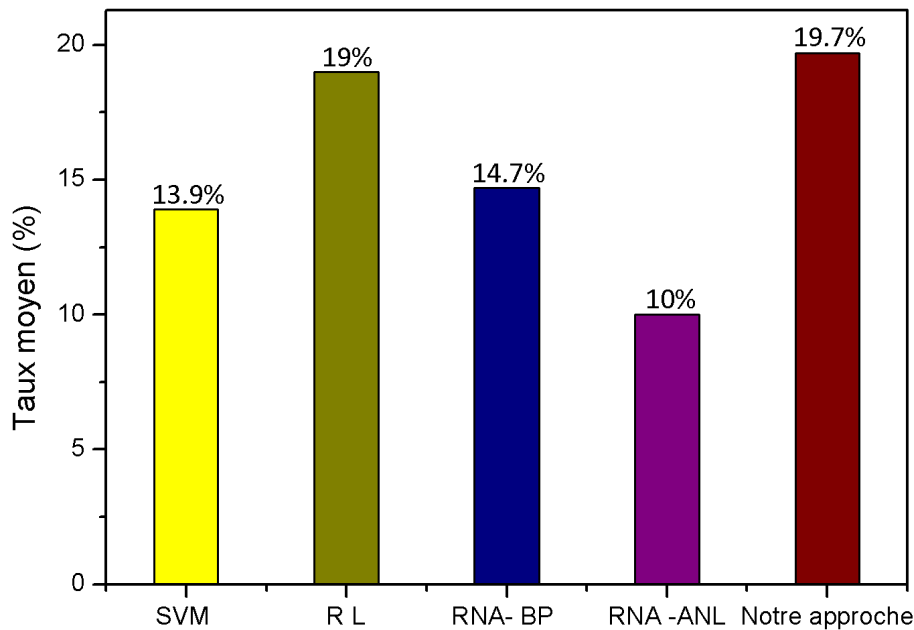


FIG. 8.13 – Comparaison de la précision de différents algorithmes appliqués aux données de fraudes

La figure 8.14 présente le rappel de différents algorithmes de classification appliqués aux données de fraudes. Selon cette figure, nous notons que l’algorithme RNA-ANL permet de fournir la meilleure avec une valeur de 74%, au deuxième rang, on trouve l’algorithme RNA-BP avec une valeur de 66%. La plus basse valeur est donnée par l’algorithme RL avec une valeur de 52.8%. En revanche, notre modèle basé un auto-encodeur donne une performance moyenne, égale à 58.2%.

Avant de tirer une conclusion concernant les résultats de la deuxième expérience, il est important de se pencher sur le fonctionnement d’un système de détection de fraude. En effet, dans ce système, lorsqu’une transaction génère un indicateur de fraude, la transaction est refusée et l’utilisateur doit passer par un processus de vérification pour vérifier s’il s’agit d’une fausse alarme ou d’une fraude réelle. Ces processus de vérification peuvent varier d’un appel téléphonique à une série de formulaires de vérification. Le coût d’une fausse alarme est alors équivalent au coût de ces processus, ce qui est nettement inférieur au coût d’un cas de fraude réel. Cependant, lorsque le nombre de fausses alarmes est important, les achats sont bloqués, rendant l’utilisation d’une carte de crédit fastidieuse. De plus, cela peut générer de grosses pertes des deux côtés de la transaction. Ainsi, notre modèle devrait comporter un nombre équilibré de fausses alarmes. D’après les figures 8.13 et 8.14, l’algorithme RNA-ANL fournit la meilleure valeur de rappel, mais il fournit la mauvaise valeur concernant la précision. Cela veut dire, que ce modèle donne le plus bas nombre de fausses alarmes mais il néglige beaucoup de transactions frauduleuses. Part ailleurs, notre approche proposée fournit une bonne valeur de fausses alarmes sans pour autant négliger la précision. Par conséquent, notre modèle est prometteur pour ce cas de situation.

Afin de valider nos résultats nous avons calculé et présenté les F1 scores dans la figure 8.15. Nous remarquons que dans cette expérience notre modèle présente le meilleure score, d’une valeur de 29.4%, alors que l’algorithme RNA auto régressif à une faible performance avec une valeur de 17.6%. En nous basant sur ces derniers résultats, nous pouvons confirmer que le modèle proposé est le mieux approprié pour la détection de fraude à

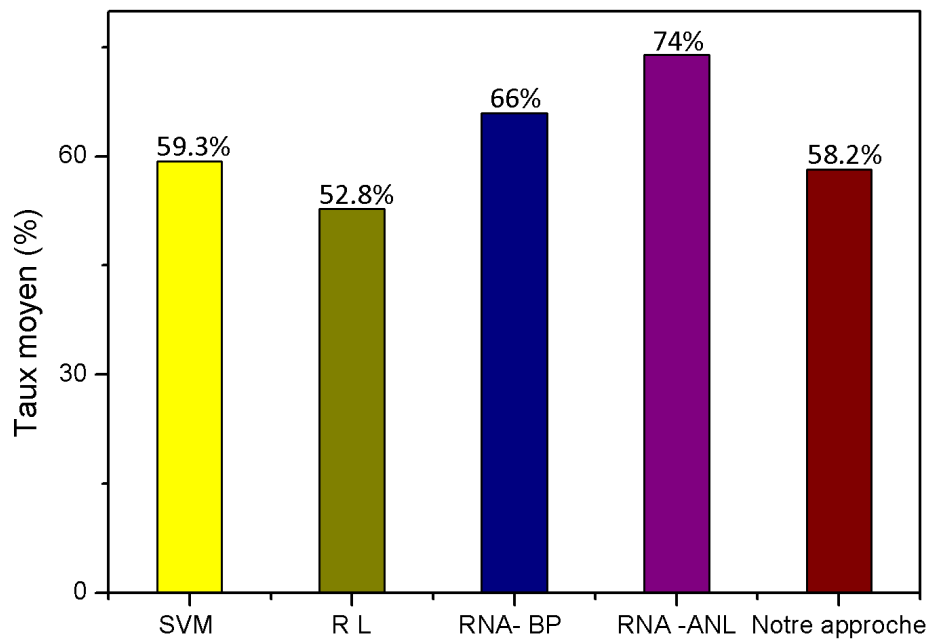


FIG. 8.14 – Comparaison du rappel de différents algorithmes appliqués aux données de fraudes

carte bancaire.

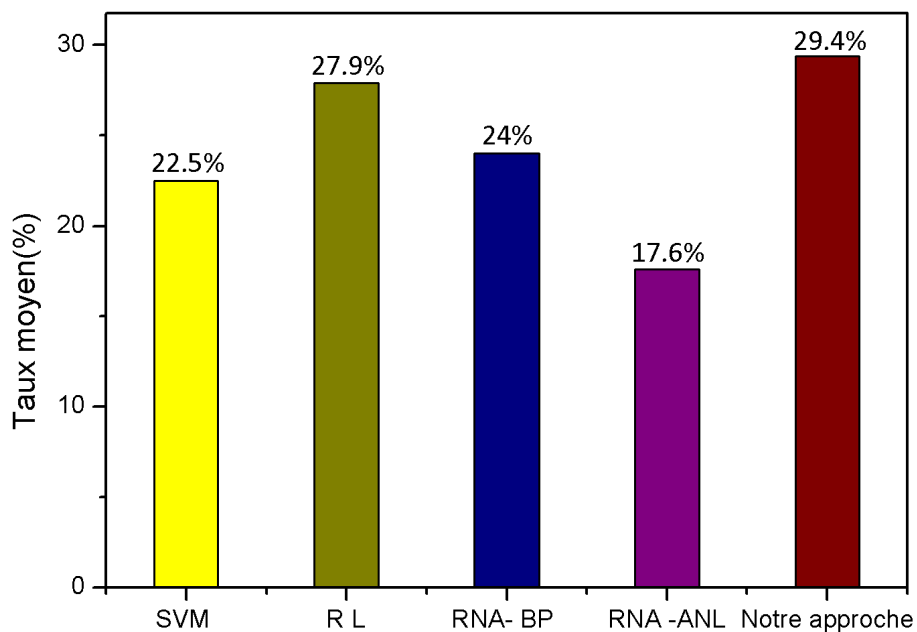


FIG. 8.15 – Comparaison de F1 score de différents algorithmes appliqués aux données de fraudes

8.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'étude de deux problèmes majeurs qui menacent le système bancaire (banque où client). Il s'agit de la fraude à la carte bancaire et l'approbation d'un crédit. Nos réflexions se sont portées sur la stratégie digitale de la prise décision afin de minimiser les risques liés à ces deux problèmes. Pour cela nous avons proposé une nouvelle architecture de classification en temps réel, pour assurer une meilleure prise de décision dans le système bancaire. Notre architecture proposée repose sur la technique Deep Learning et plus précisément l'algorithme auto-encodeur. De plus, elle contient deux modèles qui fonctionnent en temps réel. Le premier modèle est un système de prédiction, capable d'améliorer la prise de décision concernant le problème de prêt de crédit. Le deuxième modèle est un système de prédiction capable de réduire les risques relatifs aux fraudes à la carte bancaire.

Les résultats expérimentaux obtenus ont montré que notre architecture basée sur le deep learning permet d'assurer de meilleures performances par rapport aux autres techniques telles que : Linear SVM regression, Non Linear Auto Régression, Logistic Regression et NN Based Classification. A l'issue des résultats obtenus nous pouvons confirmer que notre architecture proposée peut être utilisée par les établissements de prêt pour l'approbation du crédit en temps réel ainsi que pour la détection des transactions frauduleuses.

Comme perspectives et élargissement de nos recherches, nous envisageons d'implémenter d'autres techniques d'apprentissage profond dans le cadre de la prédiction de la fraude à la carte bancaire et la prédiction de l'éligibilité de crédit. Nous considérons également que notre architecture proposée ouvre la voie à deux extensions. En effet, il est important de prendre en considération le problème du risque de liquidités dans le système bancaire. Pour cela, nous proposerons un nouveau modèle basé sur le deep learning pour prédire ce risque afin de réduire les coûts d'exploitation relative à ce problème. Par ailleurs, nous suggérons de traiter le problème de faillite bancaire, en utilisant un autre modèle qui repose aussi sur le deep learning.

Enfin, comme une dernière perspective de cet axe de recherche, nous nous intéressons à l'interprétabilité de nos deux modèles. En effet, ce processus représente la capacité à comprendre les raisons d'une décision obtenue à l'aide d'un modèle prédictif. Il permet de répondre à deux questions : comment peut-on avoir un tel résultat et pourquoi peut-on avoir une telle performance. Dans le secteur bancaire, le besoin d'interprétabilité est nécessaire pour valider les résultats obtenus par n'importe quel modèle du Machine learning. Pour cela, nous proposons d'étudier les différentes méthodes d'interprétabilité afin de valider le modèle prédictif de fraude et le modèle prédictif d'approbation de crédit.

Bibliographie

- [1] Chen, Min, Shiwen Mao, and Yunhao Liu. "Big data : A survey." *Mobile networks and applications* 19.2 (2014) : 171-209. (Cite en page 116.)
- [2] Bose, Indranil, and Radha K. Mahapatra. "Business data mining—a machine learning perspective." *Information and management* 39.3 (2001) : 211-225. (Non cite.)
- [3] Han, Jiawei, Jian Pei, and Micheline Kamber. *Data mining : concepts and techniques*. Elsevier,(2011) (Cite en page 116.)
- [4] TUNG, Hui-Hsuan, CHENG, Chiao-Chun, CHEN, Yu-Ying, et al. Binary Classification and Data Analysis for Modeling Calendar Anomalies in Financial Markets. In : *Cloud Computing and Big Data (CCBD), 2016 7th International Conference on*. IEEE, (2016). p. 116-121. (Cite en page 116.)
- [5] S. Benson Edwin Raj, A. Annie Portia. : Analysis on Credit Card Fraud Detection Methods. In : *International Conference on Computer, Communication and Electrical Technology – ICCET2011, 18th & 19th March, (2011)* (Cite en page 116.)
- [6] Martin, James. : *Programming Real-time Computer Systems*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall Inc. p. 4. ISBN 0-13-730507-9.)(1965) (Cite en page 116.)
- [7] Masoumeh Zareapoor, Seeja.K.R, and M.Afshar.Alam. : Analysis of Credit Card Fraud Detection Techniques : based on Certain Design Criteria. In : *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 52–No.3, August (2012)* (Cite en page 116.)
- [8] JENSEN, Herbert L. : Using neural networks for credit scoring. *Managerial finance*, vol. 18, no 6, p. 15-26.(1992) (Cite en pages 116 et 118.)
- [9] FU, Kang, CHENG, Dawei, TU, Yi, et al. : Credit Card Fraud Detection Using Convolutional Neural Networks. In : *International Conference on Neural Information Processing*. Springer International Publishing. p. 483-490. (2016) (Cite en page 116.)
- [10] Landi, Alberto, et al. "Artificial neural networks for nonlinear regression and classification." *Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2010 10th International Conference on*. IEEE, (2010) (Cite en pages 116, 117 et 118.)
- [11] Phyu, Thair Nu. "Survey of classification techniques in data mining." *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*. Vol. 1. (2009). (Cite en page 117.)
- [12] Laxman, Srivatsan, and P. Shanti Sastry. "A survey of temporal data mining." *Sadhana* 31.2 (2006) : 173-198. (Non cite.)
- [13] John A. Stankovic. :Misconceptions about real-time computing. *IEEE Computer*, 21(10), 10-19 (1988). (Cite en page 119.)
- [14] Y. Bengio. : Learning deep architectures for ai, *Found. Trends Mach. Learn.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–127, Jan. (2009) (Cite en page 117.)
- [15] Allison, Paul D. *Logistic regression using SAS : Theory and application*. SAS Institute, 2012. (Cite en page 117.)
- [16] Vapnik, V. : *Statistical learning theory*. Wiley, New York.(1998) (Cite en page 117.)
- [17] ALTMAN, Edward I., MARCO, Giancarlo, et VARETTO, Franco. : Corporate distress diagnosis : Comparisons using linear discriminant analysis and neural networks (the Italian experience). *Journal of banking & finance*, vol. 18, no 3, p. 505-529.(1994) (Cite en page 117.)
- [18] Bakar, Nor Mazlina Abu, and Izah Mohd Tahir. "Applying multiple linear regression and neural network to predict bank performance." *International Business Research* 2.4 (2009) : 176. (Cite en page 117.)
- [19] Bhattacharyya, Siddhartha, et al. "Data mining for credit card fraud : A comparative study." *Decision Support Systems* 50.3 (2011). (Cite en page 118.)
- [20] Şahin, Yusuf G., and Ekrem Duman. *Detecting credit card fraud by decision trees and support vector machines*. (2011). (Cite en pages 91 et 118.)

BIBLIOGRAPHIE

- [21] LI, Sheng-Tun, SHIUE, Weissor, et HUANG, Meng-Huah. : The evaluation of consumer loans using support vector machines. *Expert Systems with Applications*, vol. 30, no 4, p. 772-782.(2006) (Cite en page 117.)
- [22] Shin, K.-S., Lee, T. S., & Kim, H.-J. : An application of support vector machines in bankruptcy prediction model. *Expert Systems With Applications*, 28(1), 127–135.(2005) (Cite en page 117.)
- [23] Cochocki, A., & Unbehauen, R. (1993). *Neural networks for optimization and signal processing*. John Wiley & Sons, Inc. (Cite en pages 91 et 117.)
- [24] Whitrow, Christopher, et al. "Transaction aggregation as a strategy for credit card fraud detection." *Data Mining and Knowledge Discovery* 18.1 (2009) : 30-55. (Cite en page 118.)
- [25] Ghosh, Sushmito, and Douglas L. Reilly. "Credit card fraud detection with a neural-network." *System Sciences*, 1994. Proceedings of the Twenty-Seventh Hawaii International Conference on. Vol. 3. IEEE, (1994). (Cite en page 118.)
- [26] Aleskerov, Emin, Bernd Freisleben, and Bharat Rao : *Cardwatch : A neural network based database mining system for credit card fraud detection*. Computational Intelligence for Financial Engineering (CIFEr), 1997., Proceedings of the IEEE/IAFE 1997. IEEE, 1997. (Cite en page 119.)
- [27] Dorronsoro, Jose R., et al. : Neural fraud detection in credit card operations. *IEEE transactions on neural networks* 8.4 (1997) (Cite en page 119.)
- [28] Seeja, K. R., and Masoumeh Zareapoor. "FraudMiner : A novel credit card fraud detection model based on frequent itemset mining." *The Scientific World Journal* 2014 (2014). (Cite en page 119.)
- [29] Hassibi, Khosrow. "Detecting payment card fraud with neural networks." *World Scientific Book Chapters* (2000) : 141-157. (Cite en page 119.)
- [30] Yang, Zhi, et al. "DeepCredit : Exploiting User Cickstream for Loan Risk Prediction in P2P Lending." *ICWSM*. 2018. (Cite en page 118.)
- [31] Kumar, Manjeet, et al. "NEURAL NETWORK APPROACH TO LOAN DEFAULT PREDICTION." (2018). (Cite en page 118.)
- [32] FU, Kang, CHENG, Dawei, TU, Yi, et al. : Credit Card Fraud Detection Using Convolutional Neural Networks. In : *International Conference on Neural Information Processing*. Springer International Publishing. p. 483-490. (2016) (Cite en page 119.)
- [33] Srivastava, Abhinav, et al. "Credit card fraud detection using hidden Markov model." *IEEE Transactions on dependable and secure computing* 5.1 (2008) : 37-48. (Cite en page 119.)
- [34] Rushin, Gabriel, et al. "Horse race analysis in credit card fraud—deep learning, logistic regression, and Gradient Boosted Tree." *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, 2017. IEEE, (2017) (Cite en page 119.)
- [35] Goodfellow, Ian, et al. *Deep learning*. Vol. 1. Cambridge : MIT press, (2016). Chapter 14. (Cite en page 118.)
- [36] Abadi, Martín, et al. "Tensorflow : a system for large-scale machine learning." *OSDI*. Vol. 16. (2016). (Cite en page 122.)
- [37] Chollet, François. "Keras : Deep learning library for theano and tensorflow." URL : <https://keras.io/k7.8/> (2015). (Cite en page 122.)
- [38] M. Lichman. : *UCI machine learning repository*, (2013) (Cite en page 123.)
- [39] Li, Sheng-Tun, Weissor Shiue, and Meng-Huah Huang. "The evaluation of consumer loans using support vector machines." *Expert Systems with Applications* 30.4 (2006) : 772-782. (Non cite.)
- [40] Martens, David, et al. "Comprehensible credit scoring models using rule extraction from support vector machines." *European journal of operational research* 183.3 (2007) : 1466-1476 (Non cite.)
- [41] Abakarim, Y., Lahby, M., & Attioui, A. (2018, October). An Efficient Real Time Model For Credit Card Fraud Detection Based On Deep Learning. In *Proceedings of the 12th International Conference on Intelligent Systems : Theories and Applications*, pp. 30-37, ACM. (Cite en page 119.)
- [42] Abakarim, Y., Lahby, M., & Attioui, A. (2018, November). Towards An Efficient Real-time Approach To Loan Credit Approval Using Deep Learning. In *2018 9th International Symposium on Signal, Image, Video and Communications (ISIVC)*, pp. 306-313, IEEE. (Cite en page 119.)

- [43] WEST, David. : Neural network credit scoring models. Computers & Operations Research, vol. 27, no 11, p. 1131-1152.(2000) (Non cite.)
- [44] A. Ng. : CS 229 machine learning course materials, Stanford University, (2016) (Non cite.)

Encadrement et Rayonnement

Sommaire

9.1	Équipe de recherche	138
9.2	Encadrement de thèses	138
9.3	Collaborations scientifiques	140
9.3.1	Collaborations nationales	140
9.3.2	Collaborations internationales	140
9.4	Innovation et valorisation	141
9.4.1	Organisation des manifestations scientifiques	141
9.4.2	Participation dans des conférences internationales	141
9.4.3	Président des sessions lors des conférences internationales	141
9.4.4	Activité de relecture d'articles et d'évaluation	141

9.1 Équipe de recherche

Depuis l'année de mon recrutement à l'ENS en 2014 jusqu'à présent, j'ai eu la chance d'intégrer une équipe de recherche intitulée : "Mathématique, Informatique et Applications (MIA)" au département Mathématiques et Informatique , au sein du laboratoire Laboratoire de mathématiques et Applications (LMA).

9.2 Encadrement de thèses

J'ai co-encadré jusqu'à présent trois thèses de doctorat, deux en informatique et une en mathématique. Voici quelques informations concernant chacune de ces trois thèses.

2016-2020

Youness Abakarim : thèse en cours de réalisation.

- *Lieu* : Laboratoire LMA, ENS, Université Hassan II de Casablanca.
- *Sujet* : Mise en place d'une architecture cognitive pour E-banking
- *Co-encadrant* : M. Lahby
- *Directeur de thèse* : Mr. Abdelbaki ATTIOUI
- *Directeur du laboratoire d'accueil* : Mr. Hassan EL AMRI

- 2018-2021** | *Mouad BORZOIMI* : thèse en cours de réalisation.
- *Lieu* : Laboratoire LMA, ENS, Université Hassan II de Casablanca.
 - *Sujet* : Les modèles immunitaires artificiels pour l’optimisation dynamique
 - *Co-encadrant* : M. Lahby
 - *Directeur de thèse* : Mr. Abdelbaki ATTIOUI
 - *Directeur du laboratoire d’accueil* : Mr. Hassan EL AMRI
-
- 2017-2020** | *Ayoub ESSOUIRI* : thèse en cours de réalisation.
- *Lieu* : Laboratoire de recherche et innovation informatique, FSAC, Université Hassan II de Casablanca.
 - *Sujet* : Modélisation et optimisation du handover vertical à base de la théorie de graphes dans un environnement réseaux hétérogènes
 - *Co-encadrant* : M. Lahby
 - *Directeur de thèse* : Mr. Abderahim SEKKAKI
 - *Directeur du laboratoire d’accueil* : Mr. Abderahim SEKKAKI

Pour cette année, j’ai envisagé de recruter deux nouveaux doctorants pour un sujet de thèse en mathématique et un autre sujet en informatique. Voici quelques informations concernant chacune de ces deux thèses.

- 2020-2023** | *Abdelhamid TAMOUH* : thèse en cours de réalisation.
- *Lieu* : Laboratoire LMA, ENS, Université Hassan II de Casablanca.
 - *Sujet* : Optimisation des ressources 5G à base de l’apprentissage profond
 - *Co-encadrant* : M. Lahby
 - *Directeur de thèse* : Mr. Abdelbaki ATTIOUI
 - *Directeur du laboratoire d’accueil* : Mr. Hassan EL AMRI
-
- 2020-2023** | *Said FAHIM* : thèse en cours de réalisation.
- *Lieu* : Laboratoire LMA, ENS, Université Hassan II de Casablanca.
 - *Sujet* : Modélisation et optimisation du risque de contagion dans le système bancaire.
 - *Co-encadrant* : M. Lahby
 - *Directeur de thèse* : Mr. Abdelbaki ATTIOUI
 - *Directeur du laboratoire d’accueil* : Mr. Hassan EL AMRI

9.3 Collaborations scientifiques

9.3.1 Collaborations nationales

Mes collègues de l'équipe de chercheurs, dirigée par Monsieur Abdelbaki ATTIOUI de l'ENS, font partie de mes collaborateurs réguliers. Je ne mentionne ci-après que mes collaborations avec des enseignants chercheurs de certaines universités marocaines dans un ordre aléatoire :

- Avec Monsieur Abderrahim SEKKAKI, de la faculté des sciences Ain chock (FSAC), Université Hassan II, Casablanca.
- Avec Monsieur Rachid SAADANE, de l'Ecole Hassania des travaux publics (EHTP), Université Hassan II, Casablanca.
- Avec Monsieur Essaid SABIR de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et Mécanique (ENSEM), Université Hassan II, Casablanca.
- Avec Monsieur Mohamed EL KAMILI, de l'Ecole Supérieure de Technologie (EST), Université Hassan II, Casablanca.
- Avec Monsieur Mohamed EL KHAILI, de l'Ecole Normale Supérieure et Technique de Mohammedia (ENSETM), Université Hassan II, Casablanca.
- Avec Monsieur Abdelkrim BEKHOUCHA, de la faculté des sciences et Techniques de Mohammedia (FSTM), Université Hassan II, Casablanca.
- Avec Monsieur Mohammed RAMDANI, de la faculté des sciences et Techniques de Mohammedia (FSTM), Université Hassan II, Casablanca.
- Avec Monsieur Mohammed KISSI, de la faculté des sciences et Techniques de Mohammedia (FSTM), Université Hassan II, Casablanca.
- Avec Monsieur Mostafa BELLAFKIH, de L'Institut National des Postes et Télécommunications (INPT), Université Mohamed V, Rabat.
- Avec Monsieur Abdellatif KOBANE, de l'École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes (ENSIAS), Université Mohamed V, Rabat.

9.3.2 Collaborations internationales

Les collaborations internationales sont données aussi dans un ordre aléatoire :

- Avec Monsieur Tarek BEJAOUI, University of Carthage, Tunisia.
- Avec Monsieur Al-Sakib Khan Pathan Southeast University, Bangladesh.
- Avec Monsieur Chadi Assi, Concordia University, Canada.
- Avec Monsieur Carlos Becker Westphall, Federal University of Santa Catarina, Brazil.
- Avec Monsieur Salim El khediri, College of Computer & Qassim University, Saudi Arabia.
- Avec Monsieur Jihene Rezgui, College Maisonneuve, Canada.
- Avec Monsieur Adel Ben Mnaouer, Canadian University Dubai
- Avec Monsieur Pit Pichappan, Digital Information Research Lab., India.
- Avec Madame Jolanta Mizera-Pietraszko, Opole University, Poland.
- Avec Monsieur Driss Benhaddou, University of Houston, USA.

9.4 Innovation et valorisation

9.4.1 Organisation des manifestations scientifiques

- **JSI'2019** : La Septième Journée des Sciences de l'Ingénieur JSI 2019, ENS, Casablanca.
- **ISNCC'2017** : The International Symposium on Networks, Computers and Communications, Marrakech.
- **RTIS'2017** : The 2nd International Conference on Real-Time Intelligent Systems, Casablanca.
- **SITA'2016** : The 11th International Conference on Intelligent Systems : Theories and Applications, FST, Mohammedia.

9.4.2 Participation dans des conférences internationales

- **NTMS'2018**
- **IWCMC'2017**
- **ISNCC'2017**
- **SITA'2016**
- **UNET'2016**
- **NTMS'2015**

9.4.3 Président des sessions lors des conférences internationales

- **SysCoBioTS'2019**
- **WinCom'2019**
- **IWCMC'2019**
- **NTMS'2018**
- **ISNCC'2017**
- **RTIS'2017**
- **SITA'2016**

9.4.4 Activité de relecture d'articles et d'évaluation

J'ai exercé des activités de rapporteur (reviewer) pour les journaux et conférences à comité de lecture suivants (je ne cite ici que quelques unes) :

9.4.4.1 Conférences

- **WINCOM** : The International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications.
https://www.wincom-conf.org/WINCOM_2019/tpc.php
- **ISNCC** : The International Symposium on Networks, Computers and Communications.
<http://www.isncc-conf.org/committees/program-committee>
- **IWCMC** : International conference on Wireless Communications & Mobile Computing.
<https://iwcmc.org/2020/>

- **ICC** : International Conference on Communications.
<https://icc2020.ieee-icc.org/>
- **SITA** : 11th International Conference on Intelligent Systems : Theories and Applications.
<http://www.sitaconference.org/#commitee>
- **SCA** : International Conference on Smart City Applications.
<http://www.medi-ast.org/sca19/index.html>
- **SysCoBioTS** : International Conference on systems of collaboration, Big Data, IoT, Security.
<http://www.syscobiots-conf.com/organisator.html>

9.4.4.2 Revues

- **Ad-hoc-networks** : <https://www.journals.elsevier.com/ad-hoc-networks>
- **Applied Computing and Informatics** : <https://www.journals.elsevier.com/applied-computing-and-informatics>
- **International journal of disaster risk reduction** : <https://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-disaster-risk-reduction>

*Des éléments justificatifs concernant ce chapitre peuvent être consultés en **ANNEXE D** **11.3.2.2***

Liste des publications de l'auteur

Sommaire

10.1 Production scientifique à l'issue des travaux de la thèse (2009-2013)	143
10.1.1 Journaux publiés	143
10.1.2 Conférences internationales	144
10.1.3 Workshops Internationals	145
10.1.4 Journées Doctorales	145
10.2 Production scientifique après la thèse (2014-2020)	145
10.2.1 Ouvrage	145
10.2.2 Chapitres	145
10.2.3 Journaux indexés	146
10.2.4 Conférences internationales	146
10.3 Rapports techniques	147

10.1 Production scientifique à l'issue des travaux de la thèse (2009-2013)

Le travail mené lors de notre sujet de thèse, au sein du Laboratoire d'Informatique de Mohammedia (LIM) a donné lieu à plusieurs contributions scientifiques. Nous donnons ci-dessous la liste des différents articles :

10.1.1 Journaux publiés

- [J1] LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "A Novel Ranking Algorithm Based Network Selection For Heterogeneous Wireless Access", Journal of Networks, Vol. 8, no. 2, pp. 263-272, 2013.
- [J2] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "Towards an Efficient Network Selection Technique Based on Differentiated Weight of Access Interface", International Journal of Business Data Communications and Networking (IJBDCN), Vol. 4, no. 8, pp. 32-48, 2012
- [J3] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "An Optimal Network Selection Technique For Future Generation Wireless Networks", Journal of Networking Technology, Vol.3, Issue 3, pp.149-160 September 2012 ;
- [J4] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "New Optimized Network Selection Decision in Heterogeneous Wireless Networks", International Journal of Computer Applications (IJCA), Vol. 54, Issue 16, pp.1-7, Septembre 2012 ;

- [J5] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**An Enhanced Evaluation Model For Vertical Handover Algorithm In Heterogeneous Networks**", International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), Vol. 9, Issue 3, No 2, pp.254-259, May 2012 ;
- [J6] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**An Intelligent Network Selection Strategy Based on MADM Methods in Heterogeneous Networks**", International Journal of Wireless & Mobile Network (IJWMN), Vol. 4 No. 1, February 2012 ;
- [J7] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**New Multi Access Selection Method Based on Mahalanobis Distance**", Applied Mathematical Sciences, Vol. 6, no. 53-56, pp. 2745-2760 February 2012 ;
- [J8] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**Network Selection Decision Based on Handover History in Heterogeneous Wireless Networks**", International Journal of Computer Science and Telecommunication (IJCST), Vol.3, Issue 2, pp.21-25, February 2012 ;

10.1.2 Conférences internationales

- [C1] LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**Reducing Handover Metrics For Access Network Selection In Heterogeneous Wireless Networks**", the Second International Conference on Innovative Computing Technology (INTECH 2012), September 18-20, 2012, Casablanca, Morocco ;
- [C2] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**New Multi Access Selection method using differentiated weight of access interface**", The 2nd International Conference on Communications and Information Technology IEEE, University of carthage, June 26-28, 2012, Hammamet, Tunisa ;
- [C3] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**Network selection algorithm based on differentiated weight of access interface**", The 7th International Conference on Intelligent Systems : Theories and Applications, May 16-17, 2012, FST Mohammedia, Morocco ;
- [C4] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**Network selection algorithm based on Diff-AHP and TOPSIS in heterogeneous wireless networks**", The 3th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'12), IEEE Morocco section May 10-12 2012, Tangier, Morocco ;
- [C5] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**A survey and comparison study on weighting algorithms for access network selection**", The 9th IFIP/IEEE International conference on wireless on demand network systems and services, École Polytechniques Torino January 9-11, 2012, Courmayeur, Italy ;
- [C6] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**Optimal Network Selection Using Multi Attribute Decision Making for Future Generation Wireless Network**", The 2nd International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'11), Ibn Zohr university Agadir and Polydisciplinary Faculty of Ouarzazate, April 7-9 2011, Ouarzazate, Morocco ;
- [C7] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**A hybrid Approach for Network Selection in Heterogeneous Multi-Access Environments**", The Third IFIP/IEEE International New Technologies, Mobility and Security (NTMS'2011), Telecom ParisTech, CNRS, Paris 6 and Paris 11, Paris, France from 7 to 10 February 2011.

10.1.3 Workshops Internationals

- [W1] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**Towards a New Access Network Selection Approach in Wireless Networks**", International workshop on informations technologies and communication (Wotic'11), ENSEM, October 13-15 2011, Casablanca, Morocco.
- [W2] M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**Access Network Selection Using Parallel Weighting System and TOPSIS Algorithm**", the second edition of workshops devoted to the theory and applications of Error Correcting Codes, Cryptography and Communication Systems, ENSIAS, June 16-17 2011, Rabat, Morocco.

10.1.4 Journées Doctorales

1. M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**Une Méthode Hybride pour la Décision de Handover Vertical dans un Environnement sans fil Hétérogène**", 3ème édition des Journées Doctorales en Technologies de l'information et de la Communication (JDTIC'11), ENSA, 7-9 Juillet 2011, Tanger, Maroc.
2. M. LAHBY, C. LEGHRIS, A. ADIB, "**Network Selection Approach Based on M-ANP and TOPSIS in heterogeneous wireless networks**", Journées Doctorales en Systèmes d'Information Réseaux et Telecommunication (JDSIRT'2012), ENSIAS May 14-15, 2012, ENSIAS-Rabat, Morocco ;

10.2 Production scientifique après la thèse (2014-2020)

Le travail mené au sein du laboratoire LMA a donné lieu à plusieurs contributions scientifiques. Nous donnons ci-dessous la liste des différents articles.

10.2.1 Ouvrage

- [Book1] Jolanta Mizera-Pietraszko, Pit Pichappan et Mohamed Lahby, "**Lecture Notes in Real-Time Intelligent Systems**", Series Volume 756, ISBN 978-3-319-91337-7, 526 pages, Springer, 2018.

10.2.2 Chapitres

- [Chap1] Mohamed Lahby, Ayoub Essouiri et Abderrahim Sekkaki, "**An Improved Modeling for Network Selection Based on Graph Theory and Cost Function in Heterogeneous Wireless Systems**", Chapter book in "In Paving the Way for 5G Through the Convergence of Wireless Systems", Volume Editors Ramona Trestian and Gabriel-Miro Muntean, ISBN13 : 9781522575702, pp. 285-304, IGI Global, 2019.
- [Chap2] Mohamed Lahby et Abderrahim Sekkaki, "**An Efficient Policy for Vertical-Handover-Based Multi-Attribute Utility Theory in Heterogeneous Wireless Networks**", Chapter book in "Advances in Data Communications and Networking for Digital Business Transformation", Volume Editor Debashis Saha, ISBN13 : 9781522553236, pp. 1-20, IGI Global, 2018.
- [Chap3] Mohamed Lahby, Abdelbaki Attioui , Abderrahim Sekkaki, "**Performance Analysis of the Vertical Handover Across Wifi/3G Networks Based on IEEE 802.21**", Chapter book in "Lecture Notes in Real-Time Intelligent Systems", Volume Editors Jolanta Mizera-Pietraszko, Pit Pichappan et Mohamed Lahby, Series Volume 756, ISBN 978-3-319-91337-7, pp. 300-310, Publisher Springer, 2018.

[Chap4] Mohamed Lahby, Abdelbaki Attioui , Abderrahim Sekkaki, "**An Optimized Vertical Handover Approach Based on M-ANP and TOPSIS in Heterogeneous Wireless Networks**", Chapter book in "Advances in Ubiquitous Networking 2", Volume Editors Rachid El-Azouzi, Daniel Sadoc Menasche, Essaïd Sabir and Francesco De Pellegrini, Volume 397 of the series Lecture Notes in Electrical Engineering pp 15-29, ISBN 978-981-10-1626-4, Publisher Springer Singapore, 2016.

10.2.3 Journaux indexés

[J2] M. LAHBY, "**Enhancing Modeling for Network Selection Using Graph Theory in Beyond 4G Networks** ", International Journal of Business Data Communications and Networking (IJBDCN),2020, vol. 16, no 1, p. 48-69.

[J1] M. LAHBY, A. ESSOUIRI, et A. SEKKAKI, "**A novel modeling approach for vertical handover based on dynamic k-partite graph in heterogeneous networks**", Digital Communications and Networks, 2019, vol. 5, no 4, p. 297-307.

10.2.4 Conférences internationales

[C1] Abakarim, Y., Lahby, M., & Attioui, A, "**Towards An Efficient Real-time Approach To Loan Credit Approval Using Deep Learning**", In 9th IEEE International Symposium on Signal, Image, Video and Communications (ISIVC), pp. 306-313, 2018 ;

[C2] Abakarim, Y., Lahby, M., & Attioui, A, "**An Efficient Real Time Model For Credit Card Fraud Detection Based On Deep Learning**", In Proceedings of the 12th International Conference on Intelligent Systems : Theories and Applications (p. 30). ACM, 2018 ;

[C3] M. LAHBY, S. Baghla, and A. Sekkaki, "**A graph theory based network selection algorithm in heterogeneous wireless networks**", 9th IFIP /IEEE International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), pp.1-6, Paris, France, 2018 ;

[C4] M. LAHBY, A. Attioui and A. Sekkaki, "**An improved policy for network selection decision based on enhanced-TOPSIS and utility function**", In 13th IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC) (pp. 2175-2180, Valancia, Spain, 2017 ;

[C5] M. LAHBY, and A. Sekkaki, "**Optimal vertical handover based on TOPSIS algorithm and utility function in heterogeneous wireless networks**", In IEEE International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), pp. 1-6, 2017

[C6] M. LAHBY, Y. Ismaili, A. Attioui, & A. Sekkaki, "**Performance analysis of minutia-based fingerprint matching algorithms**", The 11th International Conference on Intelligent Systems : Theories and Ap-

plications (SITA'16), IEEE, pp. 1-5, , FST Mohammedia, Morocco, 2016 ;

[C7] M. LAHBY, S. Baghla, and A. Sekkaki, "Survey and comparison of MADM methods for network selection access in heterogeneous networks", 7th IFIP /IEEE International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), pp.1-6, Paris, France, 2015 ;

10.3 Rapports techniques

[R1] Mohamed LAHBY, "Optimisation et évaluation des performances des communications mobiles dans un environnement réseaux multi-accès", Rapport de thèse, Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, Novembre 2013.

[R2] Mohamed LAHBY, "Évaluation des Performances du Routage Multi Chemins Dans MPLS", Rapport de DESA, Faculté des Sciences de Rabat FSR, Rabat, Janvier 2009.

Des éléments justificatifs concernant ce chapitre peuvent être consultés en ANNEXES E 11.3.2.2

Conclusions et Perspectives

Sommaire

11.1 Conclusions	148
11.2 Perspectives des activités pédagogiques	149
11.3 Perspectives des activités de recherche	150
11.3.1 Nos axes de recherche à l'état actuel	150
11.3.2 Nos futurs axes de recherche	151

11.1 Conclusions

Dans ce document, nous avons donné une vue globale concernant nos activités pédagogiques et nos travaux de recherche depuis le recrutement à l'ENS jusqu'à nos jours. Pour le volet pédagogique, nous avons présenté l'ensemble des cours, de travaux dirigés et travaux pratiques, concernant plusieurs modules, en Licence et en Master, qui me sont affectés par mon département d'attache. De plus nous avons exploré les différents sujets de PFE que nous avons encadrés dans le cycle de licence et en Master. Enfin, nous avons donné une vue globale concernant nos responsabilités pédagogiques, en tant que coordonnateur de plusieurs modules, et en tant que membre de commissions d'entretiens de sélection.

Au niveau des activités de recherche, nous avons présenté nos contributions scientifiques que nous avons menées au laboratoire LMA, sous le thème : "Contributions à la modélisation et l'optimisation des problèmes en temps réel". Nos recherches ont été scindées en axes sous forme de trois chapitres (chapitres 6, 7 et 8) :

- Optimisation de la qualité de service dans les réseaux de la future génération ;
- Modélisation de la gestion de mobilité dans les réseaux sans fil hétérogènes ;
- Optimisation des risques dans le système bancaire à base de l'apprentissage automatique.

Le fil directeur de mes travaux de recherche réside dans l'optimisation et la modélisation des problèmes en temps réel. De plus nous avons vu que nos trois axes de recherche nécessitent une large application des mathématiques, de la recherche opérationnelle et des algorithmes du Machine Learning.

Dans ce qui suit, et pour conclure ce rapport, d'une part nous présentons les grandes lignes de notre futur projet pédagogique. D'autre part, nous mettons en perspectives certains travaux futurs qui découlent immédiatement de chaque axe de recherche et nous présentons aussi les deux nouveaux axes de recherche.

11.2 Perspectives des activités pédagogiques

En 2014, le département de mathématiques et informatique a proposé la création d'une filière Licence en Crypto Mathématique et Sécurité de L'information (LCMSI) et la création d'une filière Master en Mathématiques, Cryptologie et Sécurité Informatique (MMCSI). L'université a répondu positivement pour une période d'accréditation allant de l'année 2015-2016 à 2018-2019. La majorité des modules avancés en informatique dans lesquels je suis intervenu concernent ces deux filières.

On a pu noter que les lauréats de la première promotion de ces deux filières ont intégré le marché du travail sans aucune difficulté, vu la qualité de la formation qu'ils ont suivie. De plus, ils ont eu la possibilité de continuer leurs études avec succès, respectivement dans le cycle Master pour les lauréats de la licence LCMSI, et dans le cycle de doctorat pour les lauréats du master MMCSI. Malheureusement, malgré le succès observé de ces 2 filières, le département était obligé de les fermer faute de ressources pédagogiques humaines.

Aujourd'hui, je voudrais monter le projet d'accréditation d'une nouvelle filière intitulée Master en Cryptologie, Internet des Objets et Sécurité Informatique (MCIOTSI). Le contenu pédagogique de cette dernière s'inspire fortement du master (MMCSI), sauf que je souhaite donner une grande place à l'enseignement de l'informatique. Le pourcentage de l'informatique avoisinera en effet 75% au lieu des 25% qu'il avait dans le master MMCSI. Dans le même contexte, j'envisage d'intégrer dans ce futur master MCIOTSI des modules consistants et d'actualité comme l'Internet des Objets, le Machine learning, les réseaux de la future génération, etc.

L'organisation modulaire de cette nouvelle filière est donnée ci-dessous :

– **Semestre 1 :**

1. Arithmétique et théorie des nombres pour la cryptographie
2. Théorie des codes correcteurs d'erreurs
3. Structures de données avancées
4. Réseaux et protocoles
5. Programmation système et réseau
6. Anglais

– **Semestre 2 :**

1. Cryptologie avancée
2. Réseaux mobiles et qualité de service
3. Internet des objets
4. Programmation orientée objet Java
5. Sécurité des systèmes et réseaux
6. Intelligence artificielle et Machine learning

– **Semestre 3 :**

1. Cryptographie quantique
2. Sécurité des cartes à Puce.
3. Modélisation et optimisation des réseaux mobiles

4. Programmation python

5. IoT et Intelligence artificielle

6. IoT et Sécurité

– **Semestre 4** : Stage et mémoire

11.3 Perspectives des activités de recherche

Dans cette section, nous présentons nos travaux futurs qui découlent immédiatement de chaque axe de recherche et nous présentons aussi les deux nouveaux axes de recherche.

11.3.1 Nos axes de recherche à l'état actuel

11.3.1.1 Optimisation de la qualité de service

Dans le chapitre 6, nous avons présenté notre contribution concernant l'optimisation de la qualité de service dans les réseaux de la future génération. Dans cette contribution, nous avons introduit une nouvelle politique qui repose sur la théorie d'utilité multi attribut afin d'optimiser la sélection du réseau. Dans les perspectives de cet axe de recherche, nous les résumons dans les points suivants :

- Implémenter cette politique proposée en utilisant la plate-forme Mininet. Cette dernière, est une solution open source qui est développée dans le but d'implémenter en temps réel des topologies réseau ;
- Vu la diversité des fonctions d'utilité dans la littérature, nous envisageons d'implémenter et d'évaluer la performance de ces différentes fonctions afin de choisir la meilleure ;
- la méthode MAUT proposée dans cette contribution permet de satisfaire uniquement les exigences de l'utilisateur en terme de la QoS. La tendance aujourd'hui est de garantir aussi la qualité de l'expérience utilisateur (QoE). Cette dernière consiste à mesurer la performance d'utilisation d'un service directement auprès de l'utilisateur. Dans ce contexte, notre objectif est d'améliorer l'architecture afin de supporter la QoE ;
- Nous envisageons finalement de tenir compte de la consommation d'énergie comme un paramètre crucial lors de la décision du handover.

11.3.1.2 Modélisation de la gestion de mobilité

Dans le chapitre 7, nous avons présenté nos travaux concernant la modélisation de la gestion de mobilité, plus précisément, la modélisation du problème du handover vertical. Pour cela, nous avons proposé une nouvelle stratégie appelée NMBDG, pour modéliser et optimiser le problème du handover vertical. Notre stratégie repose sur l'idée d'introduire la théorie de graphes pour modéliser et construire un graphe k-parti qui représente l'infrastructure de chaque opérateur de télécommunications. Ainsi, après avoir construit le graphe dynamique "k-parti", nous avons introduit une nouvelle fonction du coût couplée avec la méthode AHP pour l'affectation de poids pour chaque arête. Ensuite, nous avons appliqué l'algorithme de Dijkstra pour déterminer le meilleur chemin en terme de la QoS. Pour valider notre stratégie NMBDG, nous avons implémenté notre politique en utilisant la plate-forme Mininet. Les différents travaux réalisés dans cet axe de recherche, nous ont permis d'envisager un certain nombre de perspectives présentées ci-dessous.

- Pour la partie expérimentation, nous avons implémenté seulement les réseaux 3G et 4G, Il sera alors intéressant de tenir compte de la technologie 5G dans notre futur implémentation du handover vertical ;
- Dans cette contribution, nous nous sommes focalisés sur la pondération des attributs en utilisant la méthode AHP. Vu que la recherche opérationnelle est aussi l'une de notre domaine de recherche, il sera avantageux d'étudier d'autres algorithmes de pondération afin d'améliorer la performance de notre politique ;
- Nous nous intéressons à l'amélioration de l'algorithme de Dijkstra en évaluant la performance des autres algorithmes, tels que l'algorithme de Shimbil et l'algorithme de Floyd-Warshall ;
- La dernière piste de recherche consiste à introduire les techniques d'apprentissage profond afin de prédire le temps approprié pour la phase d'initiation du handover.

11.3.1.3 Optimisation des risques dans le système bancaire

Dans le chapitre 8, nous avons présenté nos travaux de recherche concernant l'optimisation des risques dans le système bancaire en utilisant l'apprentissage automatique. Vu la diversité des risques qui peuvent menacer le système bancaire, nous nous sommes penchés sur la fraude à la carte bancaire et l'approbation d'un crédit. Nous avons proposé une nouvelle architecture de classification en temps réel, qui repose sur le deep learning. Cette architecture proposée contenant deux modèles, le premier est destiné pour minimiser le risque de la fraude à la carte bancaire, alors que le deuxième modèle est destiné à prédire en temps réel l'approbation d'un crédit. Les résultats expérimentaux obtenus ont montré que notre architecture permet d'assurer de meilleures performances par rapport aux autres techniques telles que : Linear SVM regression, Non Linear Auto Regression, Logistic Regression et NN Based Classification

Les différents travaux réalisés dans cet axe de recherche, nous ont permis d'envisager un certain nombre de perspectives présentées ci-dessous.

- Nous envisageons d'implémenter d'autres techniques d'apprentissage profond dans le cadre de la prédiction de la fraude à la carte bancaire et la prédiction de l'éligibilité de crédit ;
- Nous proposerons un nouveau modèle pour la prédiction de risque de liquidités dans le système bancaire ;
- Nous envisageons d'introduire le deep learning pour traiter le problème de faillite bancaire.
- Dans la dernière piste de recherche, nous proposons d'étudier les différentes méthodes d'interprétabilité afin de valier nos modèles.

11.3.2 Nos futurs axes de recherche

Nous allons maintenant présenter nos futurs axes de recherche que nous comptons développer dans les années qui viennent. Nous allons poursuivre nos travaux de recherche sur deux nouveaux axes qui sont : les modèles immunitaires artificiels pour l'optimisation dynamique et la modélisation mathématique du risque de la contagion dans le système bancaire. Dans ce qui suit, nous présentons brièvement le contexte, les objectifs et le lien aux encadrements doctoraux pour ces deux thématiques.

11.3.2.1 La modélisation mathématique du risque de la contagion dans le système bancaire

La contagion dans les marchés financiers est aujourd'hui un phénomène que l'on ne peut ignorer. La propagation des crises financières n'est pas un phénomène nouveau. Mais, l'effet de contagion est devenu plus

critique depuis quelques années suite à l'évolution de deux éléments majeurs : d'une part, une rapide intégration économique au niveau international a renforcé les liens d'interdépendance entre les marchés et a donc augmenté les risques de propagation de chocs. D'autre part, on observe un plus grand impact du comportement des investisseurs sur les marchés. Ce développement est essentiellement dû à l'apparition de nouveaux produits financiers, à l'amélioration des systèmes de communication (Bloomberg, Reuters, compte de trading en ligne, etc) et surtout à la recherche frénétique de gains financiers immédiats. La littérature se rapportant à la contagion financière fut donc prolifique ces dernières années. Impact du krach d'Octobre 1987, crise asiatique, crise russe, éclatement de la bulle des dot-coms, crise de prêts hypothécaires américains dits « subprimes », crise de la dette publique européenne, etc. Toutes ces crises représentent un champ de recherche pour étudier des situations de transmission de chocs.

La modélisation numérique consiste à minimiser un problème sur un ordinateur pour avoir une maquette qu'il soit possible de manipuler facilement pour opérer divers modifications en vue d'améliorer le problème en question. Cette démarche sert également à faire subir toutes sortes de contraintes à la projection virtuelle du problème pour en étudier les impacts ce qui permettra de concevoir les changements à effectuer pour optimiser le résultat final. La modélisation numérique peut être utilisée dans de nombreux domaines, on peut citer à titre d'exemples : la physique, la médecine, l'économie, etc.

Dans cette deuxième thématique, nous nous intéressons à la modélisation du risque de la contagion dans le système bancaire. Afin d'accélérer nos activités de recherche dans cet axe, nous envisageons de recruter un nouveau doctorant pour un sujet de thèse intitulé **La modélisation mathématique du risque de la contagion dans le système bancaire**.

11.3.2.2 Les modèles immunitaires artificiels pour l'optimisation dynamique

Dans la vie réelle, la majorité des problèmes qu'on peut rencontrer ne peuvent être résolus à l'aide des algorithmes déterministes. Pour cela, nous chercherons dans la majorité du temps à optimiser ce genre de problèmes. Le processus d'optimisation consiste en effet à chercher soit à minimiser des grandeurs comme le temps, le coût ou le risque ; soit à maximiser le profit, la qualité, l'efficacité et l'énergie. Ces problèmes d'optimisation appartiennent à la classe de complexité NP-difficile. Pour cette raison, les praticiens ont souvent recours à des méthodes heuristiques qui permettent de trouver des solutions approchées mais satisfaisantes à ces problèmes. Ces heuristiques permettent d'explorer efficacement l'espace de recherche des solutions tout en réduisant sa taille effective. Parmi ces heuristiques, on peut citer le recuit simulé, les algorithmes génétiques, les colonies des fourmis, les colonies d'abeilles, le système immunitaire, etc.

D'un côté, la majorité des problèmes d'optimisation ne sont pas toujours stationnaires et peuvent changer stochastiquement au cours du temps. Les algorithmes d'optimisation doivent alors être en mesure de traquer l'optimum au cours du temps, c'est à dire de suivre le mouvement de cet optimum au fil du temps. Les problèmes d'optimisation dynamique sont évidemment plus difficiles que les problèmes d'optimisation statique. D'un autre côté, les algorithmes immunitaires artificiels sont largement appliqués dans plusieurs domaines tels que l'industrie, la médecine, le transport, l'économie, télécommunication, ou plus récemment dans le cadre d'optimisation dynamique.

Dans ce contexte, cette nouvelle thématique de recherche s'articule autour de problèmes d'optimisation dynamique en utilisant les algorithmes immunitaires artificiels. Nous signalons que nous avons commencé nos

11.3. PERSPECTIVES DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE

travaux de recherche dans cette nouvelle thématique depuis l'année dernière. Nous avons en effet déjà recruté un doctorant pour un sujet de thèse intitulé **Les modèles immunitaires artificiels pour l'optimisation dynamique**. Vu qu'il n'y a aucune production scientifique dans cette thématique, nous l'avons considérée comme nouvelle.

ANNEXES

ANNEXE A : Documents Administratifs, Chapitre 1

Dans cette annexe, en voici, les documents qui sont en relation avec la partie administrative :

A-1 Copie de l'arrêté de nomination.

A-2 Attestation de travail.

A-3 Autorisation à soutenir l'habilitation à diriger les recherches, délivrée par l'établissement d'origine (ENSC, Université Hassan II de Casablanca).

A-4 Copie des diplômes obtenus.

ANNEXE B : Justificatifs de mes activités avant d'intégrer L'ENSC, Chapitre 2

Les éléments justificatifs de mes activités avant de rejoindre l'équipe pédagogique de l'ENS :

B-1 Attestation de vacation à la FST de Mohammedi ;

B-2 Attestation de participation aux 3èmes journées informatiques des CPGE.

ANNEXE C : Justificatifs de mes activités à L'ENSC, Chapitre 3

Les éléments justificatifs de mes activités à l'ENS de Casablanca en tant que :

C-1 Responsable des modules dans les filières LEM/LCMSI/LEESM/MMCSI ;

C-2 Membre de commissions d'entretiens de sélection pour l'accès en 1ère année licence ;

C-3 Membre de commissions d'entretiens de sélection pour l'accès en 1ère année master ;

C-4 Membre du comité de sélection des candidats pour le cycle de doctorat, Laboratoire LMA ;

C-5 Encadrement des projets de Fin d'Etudes de Master ;

C-6 Participation au jury d'évaluation des projets de fin d'études de Masters ;

C-7 Encadrement des projets dans le cycle licence LCMSI ;

C-8 Participation au jury d'évaluation des projets de fin d'études de licence LCMSI.

ANNEXE D : Documents justificatifs de l'encadrement et rayonnement, Chapitre 9

Dans cette annexe, je donne les éléments justificatifs concernant :

D-1 Encadrement de thèses ;

D-2 Innovation et valorisation scientifique.

ANNEXE E : Articles Journaux et Communications, Chapitre 10

Dans cette annexe, je donne la première page de chaque papier publié après la thèse :

D-1 Des articles Journaux ;

D-2 Des chapitres ;

D-2 Des conférences internationales.