

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université du 8 mai 1945-Guelma-

Faculté de Mathématiques, Informatique et Sciences de la Matière
Département d'informatique



Mémoire

Spécialité : Informatique

Option:

Sciences et technologies de l'information et de la communication

Thème

Conception et évaluation des performances d'un algorithme de sélection
de réseau dans les environnements sans fils hétérogènes.

Presenté par:

SIDIBE Fatoumata

Encadré par:

Dr. BENHAMIDA Nadjette

Membres du jury:

Dr. SOUSSI Hakim

Président

Mr. BERREHOUMA Nabil

Examineur

Juin 2023.

Remerciements

Je tiens en premier lieu à exprimer mes plus vifs remerciements à Madame Benhamida Nadjette pour l'intéressant sujet qu'elle m'a proposé, Je lui suis également reconnaissant pour la confiance qu'elle m'a accordée. Il m'est impossible de lui exprimer toute ma gratitude en seulement quelques lignes.

Je ne saurais oublier de remercier tous mes professeurs et toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Pour finir mes derniers mots de remerciements vont tout naturellement à ma famille et mes amis, en particulier mes parents pour leur soutien tout au long de mes études.

Dédicaces

Au nom du dieu le clément et le miséricordieux louange à ALLAH le tout Puissant.
Je dédie ce modeste travail en signe de respect, reconnaissance et de remerciement :

A mes chers parents pour leurs prières et encouragements, A mon défunt père qui
a toujours voulu ce Diplôme et à tous mes amis et camarades.

Table des matières

Liste de figures.....	3
Liste de tables.....	4
Liste des acronymes	5
Résumé.....	8
Introduction générale.....	11
Chapitre I : état de l'art	13
1. Introduction.....	13
2. Les réseaux hétérogènes	13
2.1. Définition	14
2.2. Les réseaux homogènes versus les réseaux hétérogènes	15
2.3. Infrastructure des réseaux hétérogènes	16
2.4. Types de réseaux hétérogènes.....	17
2.5. Applications des réseaux hétérogènes.....	17
3. Gestion de la mobilité dans les réseaux hétérogènes	18
3.1. Processus de gestion de la mobilité.....	18
3.2. Types de mobilité	19
4. Contraintes et exigences des réseaux hétérogènes	20
4.1. Contraintes	20
4.2. Exigence au niveau de l'utilisateur	21
4.3. Avantages des réseaux hétérogènes en entreprises.....	22
5. Sélection de réseaux	23
5.1. Métriques de sélection de réseaux	23
5.2. Processus de sélections de réseaux	24
5.3. Evaluation des performances des algorithmes de sélection.....	24
6. Conclusion.....	25
Chapitre II : La sélection de réseaux dans un environnement hétérogène	27
1. Introduction.....	27
2. Processus de Handover dans les réseaux hétérogènes.....	27
3. Travaux connexes.....	27
6.1. Algorithme de sélection basée sur la puissance du signal	27
6.2. Algorithme de sélections de réseau basée sur MDP.....	28
6.3. Algorithme de sélection basée sur les décisions multicritères.....	29
6.4. Algorithme de sélection de réseau basée sur la logique floue	29
6.5. Algorithme de sélection basée sur MIH.....	30
6.6. Algorithme de sélection de réseau basée sur l'apprentissage	31

6.7.	Algorithme de sélection de réseaux basée sur la QoS	31
6.8.	Algorithme de sélection de réseaux basée sur la régression linéaire	32
4.	Comparaison et discussion	32
5.	Contribution	35
5.1.	Un algorithme basé sur la QoS	35
5.2.	L'Algorithme proposé.....	37
6.	Conclusion.....	38
Chapitre III : Implémentation et réalisation.....		39
1.	Introduction.....	39
2.	Conception et modélisation	39
2.1.	Modèle du système	39
2.2.	Organigramme d'exécution	40
2.3.	Diagramme de séquence	42
3.	Implémentation.....	43
3.1.	Présentation de matériel et logiciel utilisés pour l'implémentation.....	43
3.2.	OMNet++	44
4.	Paramètres de simulation.....	48
5.	Scenarion de simulation	48
5.1.	Interface graphique de la simulation	49
5.2.	Interfaces lors de l'exécution.....	49
5.3.	Différents modules des interfaces radio	52
5.4.	Interprétation des différents résultats.....	54
6.	Conclusion.....	58
Conclusion générale et perspectives.....		59
Références bibliographiques		62

Liste de figures

Figure 1 : Déploiement hétérogène [6].	15
Figure 2 : Exemple de réseaux hétérogène.	16
Figure 3 : Modèle de simulation.	40
Figure 4: Organigramme de l'algorithme.	41
Figure 5: Diagramme de séquence.	43
Figure 6: Interface graphique du modèle simulé.	49
Figure 7 : Envoie du signal de présence au niveau du point d'accès.	50
Figure 8 : Demande d'informations.	50
Figure 9 : Attribution du canal radio a l'host.	51
Figure 10 : Envoie d'informations.	51
Figure 11 : Réception des informations.	52
Figure 12: Confirmation.	52
Figure 13: Différents modules d'un point d'accès.	53
Figure 14 : Modules du nœud mobile.	54
Figure 15 : Résultat d'interprétation.	54
Figure 16 : Recensement des informations d'AP1.	55
Figure 17: Recensement des informations d'AP2.	55
Figure 18: Recensement des informations d'AP3.	56
Figure 19: Recensement des informations d'AP4.	56
Figure 20 : Recensement des informations d'AP5.	56
Figure 21 : Les facteurs des points d'accès.	57
Figure 22: Résultat d'authentification et association.	58

Liste de tables

Tableau 1 Comparaison entre les différents algorithmes de sélections de réseaux	33
Tableau 2. Paramètres de simulation.	48

Liste des acronymes

Acronyme	Signification
AA	Apprentissage Automatique
AHP	Processus Hiérarchique Analytique
AP	Access Point
AUC	Authentication Center
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BEACON	Balanced Energy And Communication Offloading for Wireless Networks
BTS	Base Transceiver Station
BSC	Base station Controller
CELL	Cellule
EDI	Environnement de Développement Intégré
EIR	Equipment Identity Register
FAHP	Fuzzy Analytic Hierarchy Process
FGE	Fuzzy Global Evaluation
FMIPv6	Fast Handover for Mobility Internet Protocol Version 6
GSM	Global System for Mobile Communication
GWAS	Genome Wide Association Study
GPRS	General Packet Radio Service
GRA	Global Routing Architecture
HETNET	Heterogenous Network
HO	Handover
HWN	Heterogeneous Wireless Network
HMIPv6	Hyper Mobility Internet Protocol version 6
HYPERLAN2	High Performances Radio LAN 2.0
HOMERF	Home Radio Fréquence
IOT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IrDA	Ingrate Data Association
IA	Intelligence Artificielle
LAN	Wireless Area Network
LRA	Linear Regression Analysis
LLC	Logiciel Link Control

LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Acces Control
MANET	Reseau Mobile Ad hoc
MATLAB	MATrix LABoratory
MDP	Processus Décisionnel de Markov
MADM	Multi-Attribute Decision Making
MIPV6	Mobility Internet Protocol version 6
MGMT	Management
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MSC	Mobile Service Switching center
MIH	Media Independant Handover
NFV	Function Virtualization Network
NS	Network Simulation
NS	Network Simulation 3
NSS	Network Sub System
OMC	Operation and Maintenance Center
OMNET++	Objective Modular Network Testbed in C++
OPNET	Optimized Network Engeneering Tools
PDA	Personal Digital Assistant
POO	Programmation Orientée Objet
PSTN	Public Switchted Telephone Network
QOS	Quality Of Service
RAT	Radio Access Technology
RSS	Received Signal Strings
RSSI	Received Signal Strings Indications
SB	Station Base
SDN	Software-Defined Networking
STL	Standard Template Library
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Télécommunications Systems
VOIP	Voice Over Internet Protocol

VHO	Vertical Handover
VANET	Vehicular Adhoc Network
VLC	VideoLAN Client
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WIMAX	World Wide Interoperability for Microwave Access
WSM	Wireless sensor network
WiFi	Wireless Fidelity

Résumé

Depuis les années 1990, la technologie des réseaux et la radio mobile ont connu des avancées phénoménales. Cette évolution technologique s'est faite simultanément avec le réseau, l'application et le besoin de l'utilisateur. Cela a conduit à l'émergence d'un environnement hétérogène où la couverture est garantie par la cohabitation de plusieurs types de réseaux. Le défi que cette conception aborde est de savoir comment se déplacer de manière transparente entre plusieurs réseaux. Un utilisateur qui se trouve dans un tel environnement sans fil a une décision à prendre concernant les réseaux d'accès à utiliser. Cette décision affecte la qualité des transferts de données. Dans ce contexte nous avons travaillé sur la proposition d'un algorithme de sélections dans les environnements hétérogènes sans fil dont le rôle principal est de permettre à un utilisateur de se connecter avec le meilleur réseau possédants les meilleures performances en termes de qualité de service. Nous avons utilisé le simulateur de réseau OMNet++ (Objective Modular Network Testbed in C++) pour évaluer notre proposition en étudiant le comportement d'un nœud mobile dans un environnement hétérogènes et en interprétant les résultats de la simulation.

Mots-Clés: algorithme de sélection, environnement hétérogène, qualité de service, mobilité , simulateur OMNet++.

Abstract

Since the 1990s, networking technology and mobile radio have experienced phenomenal advances. This technological evolution has taken place simultaneously with the network, the application and the user's need. The rapid evolution of technology has led to the emergence of a heterogeneous environment where coverage is guaranteed by the coexistence of several types of networks. The challenge that this design prevents is knowing how to move seamlessly between multiple networks. A user in a wireless network environment has a decision to make regarding which access networks to use because this decision affects the quality of data transfers. In this context, we worked on the proposal of a selection algorithm in heterogeneous environments where the main role is to allow a user to connect with the best network with the best performance data. Therefore, we proposed a new algorithm based on the quality of service comprising several selection criteria. We used the OMNet++ network simulator to evaluate our proposal by studying the behavior of a mobile node in a heterogeneous environment and interpreting the results of the simulation.

Keywords: wireless network, mobility, heterogeneous environment, selection algorithm, quality of service, OMNet++ simulator.

ملخص

منذ التسعينيات، شهدت تكنولوجيا الشبكات والراديو المحمول تطورات هائلة. حدث هذا التطور التكنولوجي بالتزامن مع الشبكة والتطبيق واحتياجات المستخدم. أدى هذا التطور السريع للتكنولوجيا إلى ظهور بيئة غير متجانسة حيث يتم ضمان التغطية من خلال التعايش بين عدة أنواع من الشبكات. التحدي الذي تناوله هذا العمل هو كيفية التنقل بسلاسة بين شبكات متعددة. لدى المستخدم في بيئة الشبكة اللاسلكية قرارًا يتخذه بشأن شبكات الوصول التي يجب استخدامها لأن هذا القرار يؤثر على جودة عمليات نقل البيانات. في هذا السياق، عملنا على اقتراح خوارزميات الاختيار في بيئات غير متجانسة يتمثل دورها الرئيسي في السماح للمستخدم بالاتصال بأفضل شبكة بأفضل أداء. ثم اقترحنا خوارزمية جديدة تعتمد على جودة الخدمة التي تشتمل على عدة معايير اختيار كما استخدمنا محاكي الشبكة OMNet++ لتقييم اقتراحنا من خلال دراسة سلوك مستعمل متنقل في بيئة غير متجانسة وكذلك تفسير نتائج المحاكاة.

الكلمات الرئيسية: شبكة لاسلكية ، شبكة متنقلة ، بيئة غير متجانسة ، خوارزمية الاختيار ، جودة الخدمة .

Introduction générale

Les progrès technologiques récents ont permis l'émergence d'un large éventail de nouveaux outils qui permettent aux utilisateurs d'accéder et d'utiliser un contenu multimédia disponible à tout moment et en tout lieu. Depuis quelques années, les dispositifs d'accès à l'information ont connu une véritable révolution. En fait, les utilisateurs peuvent accéder au contenu via une grande variété d'appareils, notamment des ordinateurs portables, des assistants personnels, des téléviseurs, des téléphones mobiles, etc. Le nombre d'utilisateurs de ces nouveaux appareils continue d'augmenter de façon exponentielle. Les moyens d'accès au contenu ont également évolué, avec de nouveaux réseaux tels que les réseaux sans fil Wifi (Wireless Fidelity), GPRS (General Packet Radio service), UMTS (Universal mobile telecommunications system), etc. Ces réseaux se sont développés et se sont intégrés à l'Internet.

Cette hétérogénéité des appareils et des points d'accès a donné naissance à des environnements hautement hétérogènes qui regroupent différents types de technologies, tels que les réseaux cellulaires, les réseaux Wi-Fi, les réseaux ad hoc et les réseaux satellitaires, pour fournir une connectivité transparente et une couverture étendue aux utilisateurs. À la lumière de cette réalité, il est essentiel de découvrir de nouveaux mécanismes de gestion plus efficaces ; ce qui représente un défi majeur en raison de leur nature diversifiée et complexe.

Les algorithmes de sélection jouent un rôle important dans la gestion des ressources dans les réseaux hétérogènes car ils permettent de prendre des décisions de choix du meilleur réseau disponible par un appareil mobile donnée. L'objectif principal d'un tel algorithme est d'assurer une connexion des nœuds mobiles à l'un des réseaux à proximité tout en optimisant les performances du système (les sous réseaux et les nœuds mobiles) en termes de débit, de latence, de fiabilité et d'utilisation des ressources disponibles.

L'algorithme de sélection dépend des caractéristiques spécifiques du réseau hétérogène et il doit prendre en compte plusieurs facteurs tels que la qualité du signal, la charge du réseau, la mobilité des composants, les exigences de la qualité de service (QoS), etc.

Notre projet de fin d'étude se repose, principalement, sur l'étude des algorithmes de sélection de réseaux dans un environnement hétérogène. Nous nous intéressant principalement à améliorer la qualité de service dans un tel environnement tout en intégrant dans les critères de décision de ces algorithmes plusieurs facteurs tels que la capacité maximale des réseaux

disponibles ainsi que le nombre de nœuds connectés à chaque réseau, la latence moyenne et la distance qui sépare un nœud mobile et un réseau hétérogène.

Le reste de notre mémoire est structuré comme suite :

- **Chapitre I « Etat de l’art »** : dans ce chapitre nous introduirons le concept de réseaux hétérogènes, les réseaux homogènes et la sélection de réseaux. Nous présentons aussi les différentes infrastructures de ces réseaux, leurs types et applications.
- **Chapitre II « La sélection de réseaux dans un environnement hétérogène »** : Dans ce chapitre, nous détaillons le processus Handover dans les réseaux hétérogènes. Nous abordons également les travaux connexes ainsi qu’une comparaison et une discussion de travaux étudiés. Ensuite, nous présentons notre contribution en donnant l’algorithme de la solution proposée.
- **Chapitre III « Modélisation et implémentation »** : nous présentons les différentes étapes de l’implémentation et la réalisation de notre travail ainsi que les principales interfaces de notre application.
Nous achèverons avec une conclusion générale et quelques perspectives pour les futurs travaux.

Chapitre I : état de l'art

1. Introduction

Les réseaux sans fil ont la capacité d'introduire des services avec des charges de données élevées tout en limitant la mobilité des utilisateurs. Cependant, chacun des systèmes existants a ses propres avantages et ses inconvénients et aucune technologie ne pourrait fournir simultanément des services à haut débit, une grande mobilité et une vaste zone de service pour un grand nombre d'utilisateurs [1].

Ainsi, une approche interconnectée permet d'utiliser les avantages de toutes les technologies tout en minimisant leurs inconvénients dite « réseaux hétérogènes » est apparue. Elle fait référence à l'intégration de plusieurs technologies afin de tirer parti de leurs caractéristiques et dont les utilisateurs peuvent transférer leur connexion à travers de nombreux points d'accès de différents types tout en recevant de meilleurs services personnels en fonction de leurs propres préférences. De plus, en partageant le trafic avec d'autres méthodes d'accès avec des débits de données plus élevés, les réseaux hétérogènes offrent une réponse significative au problème de congestion du réseau mobile [2].

Dans ce chapitre nous introduirons quelques généralités sur les réseaux hétérogènes en donnant quelques définitions, une simple comparaison entre les réseaux hétérogènes et homogènes, leur infrastructure, leurs types et domaines d'application. Puis nous discutons la gestion de la mobilité dans un tel environnement ainsi que leurs contraintes et exigences. Ensuite nous abordons le problème de sélection de réseaux en général en présentons les métriques de sélection, le processus de sélection ainsi que l'évaluation de performances d'un algorithme de sélection de réseau. En fin, nous terminons ce chapitre par une conclusion.

2. Les réseaux hétérogènes

L'utilisation uniforme des Stations de Base (SBs) classiques présente une efficacité limitée en termes de débit, car les réseaux traditionnels sont conçus pour une large couverture radio plutôt que pour une grande charge de trafic. Afin de répondre aux exigences de débit, de nouveaux types de SBs ont été développés, tels que les Femtocells, Picocells et Microcells, créant ainsi des réseaux hétérogènes. Ces derniers réduisent les distances entre les utilisateurs et les SBs, ce qui (1) améliore les débits et (2) permet de réaliser des économies d'énergie

importantes [3]. En effet, une macro-cellule permet de réaliser le plus grand rayon de couverture, une pico cellule ou une femto cellule est caractérisée par une surface de couverture plus petite, donc elle sert moins d'abonnés ce qui obéit à la contrainte de capacité (en règle générale, la portée d'une micro-cellule est inférieure à deux kilomètres de large, une pico-cellule est de 200 mètres ou moins et une femto-cellule est de l'ordre de 10 mètres) [4].

2.1.Définition

Dans la littérature, plusieurs définitions du concept de « réseaux hétérogènes » (en anglais Heterogeneous Network en anglais) ont été proposées, parmi lesquelles, on peut citer :

- Les réseaux hétérogènes, souvent appelés HetNet, ne mentionnent pas une technologie spécifique, mais ils correspondent à la technique de déploiement multicouches. Autrement dit, plusieurs techniques d'accès, plusieurs formats de cellules, plusieurs types de couvertures sont mis en œuvre dans la même zone de déploiement [4].
- Les réseaux hétérogènes font référence à une infrastructure constituée de plusieurs réseaux d'accès utilisant des technologies différentes afin d'offrir un meilleur service aux clients. Dans un environnement hétérogène, les utilisateurs sont amenés à se déplacer et ainsi à changer éventuellement de réseau [3].
- Les réseaux hétérogènes sont des réseaux multi fournisseurs, c'est à dire que les composants matériels ou logiciels proviennent de fournisseurs différents. Le défi des environnements réseaux hétérogènes est l'interopérabilité [5].

De nos jours, la majorité des réseaux sont des réseaux hétérogènes [5] vu que : (1) la technologie a beaucoup évolué, (2) les préférences des utilisateurs sont différents, (3) les fournisseurs s'intéressent à une plus grande compatibilité de leurs produits matériels et logiciels, (4) les administrateurs réseaux sont de plus en plus « multi compétents » pour mettre en œuvre une telle complexité, etc.

L'idée est donc de déployer plusieurs formats (figure 1) de cellule dans la même zone, pour se garantir à la fois [4] :

- **De la capacité** : en mettant en place une couche hotspot composée de plusieurs cellules à tailles réduites et des nœuds relais, ces derniers sont moins coûteux, faciles à installer et elles permettent en plus d'assurer la couverture à l'intérieur des bâtiments des utilisateurs (tels que dans les bureaux, les maisons, etc).

- **De la couverture** : en utilisant une macro cellule capable d'étendre la couverture dans la zone entière. Un utilisateur peut se connecter à un réseau de type HetNet selon la technologie qui répond le plus à son besoin : ad hoc, Wifi, etc. HetNet est constitué donc d'une station macro qui coopère avec plusieurs petites cellules de tailles réduites de façon transparente dans le but d'augmenter la capacité et la couverture du réseau.

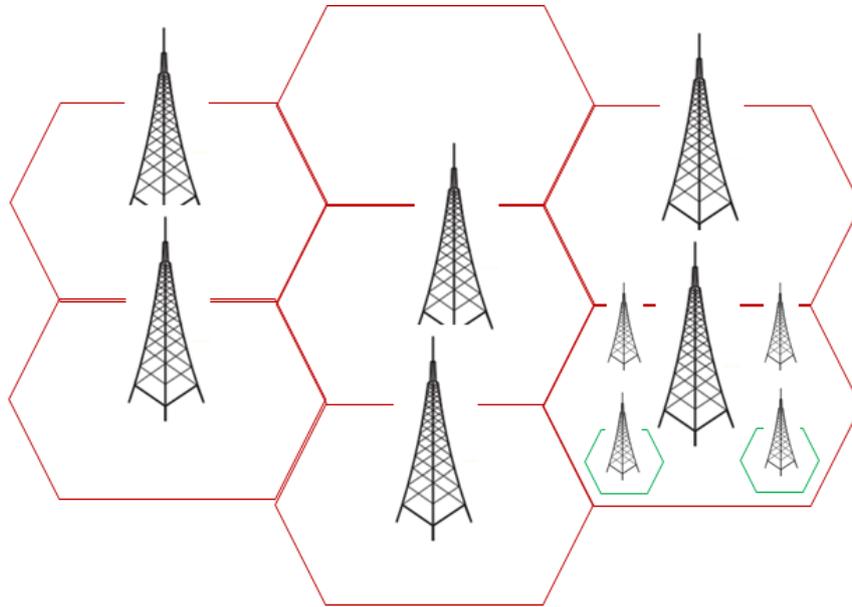


Figure 1 : Déploiement hétérogène [6].

Parmi les caractéristiques des réseaux hétérogènes on peut citer [7] : (1) les changements architecturaux, (2) des réseaux auto-organisés, (3) leurs flexibilités, et (4) le modèle de déploiement.

2.2. Les réseaux homogènes versus les réseaux hétérogènes

Les réseaux homogènes sont des réseaux informatiques dans lesquels tous les équipements sont de la même nature, et utilisent les mêmes protocoles de communication, les mêmes technologies et les mêmes normes. Ils sont souvent utilisés dans des environnements où il est important d'avoir une gestion de réseau cohérente et efficace, tels que les entreprises, les institutions gouvernementales et les organisations militaires. Ils ont plusieurs avantages, notamment une gestion facile, une maintenance accrue, une meilleure interopérabilité entre les équipements, et une plus grande sécurité du réseau. En effet, la gestion de la sécurité est souvent plus simple dans les réseaux homogènes vu leurs caractéristiques cités précédemment [1].

Cependant, les réseaux hétérogènes offrent une grande capacité aux utilisateurs car la distance entre ceux-ci et les SBs diminue, de plus la capacité des réseaux est améliorée par la

coexistence de plusieurs types de SBs. Cependant, les différentes SBs doivent être déployées soigneusement, par la prise en compte des distances entre celles-ci, ce qui n'est pas toujours possible dans ce type de réseaux. Le choix entre les infrastructures hétérogènes et homogènes dépend de la zone ciblée et des débits exigés. Le déploiement de Microcell est plus intéressant dans les zones à faible charge de trafic, comme dans les zones rurales, tandis que l'utilisation des réseaux cellulaires hétérogènes est plus efficace dans les zones urbaines [3].

2.3. Infrastructure des réseaux hétérogènes

L'évolution des terminaux mobiles et les différents services de communication a conduit à une très grande augmentation au niveau du trafic dans les réseaux cellulaires. Pour faire face à cette charge de trafic, le concept des réseaux hétérogènes a été introduit. Un réseau hétérogène est composé de différents types de réseaux d'accès pouvant avoir des technologies de communication différentes (Figure 1). En plus des stations de base conventionnelles (SBs), nous trouvons dans ces réseaux des petites cellules (Small Cells) qui se présentent sous la forme de Microcellules, Picocellules et/ou Femtocellules. Cette diversité offre plusieurs avantages au niveau de l'efficacité spectrale, de la couverture réseau et de la capacité [3].

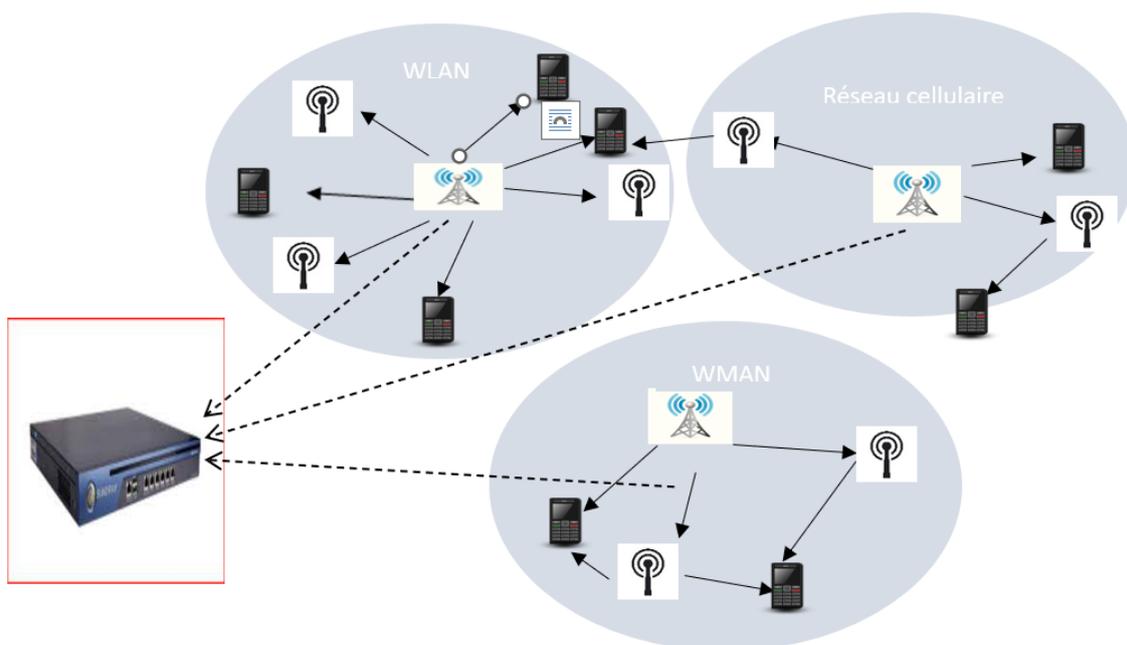


Figure 2 : Exemple de réseaux hétérogène.

2.4.Types de réseaux hétérogènes

Parmi les types des réseaux hétérogènes les plus connus, on peut citer :

- **Réseau hétérogène sans fil** : qui utilise des technologies tels que Wi-Fi, Bluetooth et Zigbee pour connecter différents types de dispositifs, tels que les ordinateurs, les smartphones et les tablettes.
- **Réseau hétérogène mobile** : est un réseau hétérogène sans fil où les nœuds peuvent se déplacer librement et dynamiquement, tout en maintenant une connectivité réseau.
- **Réseau hétérogène de capteur** : est un type de réseau hétérogène sans fil utilisé pour la collecte de données sensibles dans des environnements difficiles à atteindre. Les nœuds sont souvent de petits dispositifs de capteur sans fil.
- **Réseau hétérogène de véhicules** : est un type de réseau sans fil utilisé pour la communication entre véhicules sur la route. Les nœuds dans un VANET (Vehicular Ad-Hoc Network) sont généralement des véhicules automobiles équipés de dispositifs de communication sans fil.
- **Réseau hétérogène de systèmes industriels** : est un type de réseau qui connecte différents types de dispositifs industriels, tels que les machines, les robots et les systèmes de contrôle, pour améliorer l'efficacité et la flexibilité des opérations industrielles.

Ces types de réseaux hétérogènes peuvent utiliser différentes technologies de communication et différents protocoles pour fournir une connectivité réseau fiable et sécurisée pour différents types de dispositifs et applications.

2.5.Applications des réseaux hétérogènes

Les réseaux hétérogènes peuvent être utilisés dans plusieurs domaines notamment [10] :

- **Villes intelligentes** : Les réseaux hétérogènes sont utilisés pour connecter les capteurs et les objets connectés dans les villes intelligentes pour la collecte de données en temps réel et la gestion de la ville.
- **Santé** : Les réseaux hétérogènes peuvent être utilisés pour connecter les dispositifs médicaux et les systèmes de surveillance à distance pour améliorer les soins des patients.
- **Industrie** : Les réseaux hétérogènes peuvent être utilisés pour connecter les machines industrielles et les équipements pour améliorer la communication et l'automatisation.

- **Transport** : Les réseaux hétérogènes peuvent être utilisés pour connecter les véhicules autonomes et les systèmes de transport pour améliorer leurs sécurité et productivité.
- **Agriculture** : Les réseaux hétérogènes peuvent être utilisés pour connecter les capteurs et les équipements agricoles pour améliorer l'efficacité et la productivité.
- **Espace** : Les réseaux hétérogènes peuvent être utilisés pour connecter les satellites et les équipements spatiaux pour améliorer les communications et la collecte de données.
- **Militaire** : Les réseaux hétérogènes peuvent être utilisés pour connecter les équipements militaires et les systèmes de communication pour améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations.

3. Gestion de la mobilité dans les réseaux hétérogènes

Le fait de se déplacer d'un point de connexion d'un réseau sans fil à un autre tout en maintenant la continuité des services est appelé mobilité. L'objectif fondamental de la gestion de la mobilité est de garder une trace de l'emplacement des terminaux mobiles et de gérer leurs connexions lorsqu'ils se déplacent à l'intérieur des zones de couverture autorisées des réseaux.

3.1. Processus de gestion de la mobilité

Deux procédures font partie du processus de gestion de la mobilité [11] :

1. **Gestion de la localisation** : cette fonctionnalité permet à un terminal mobile de communiquer au réseau sa localisation actuelle. Il se compose de deux étapes. La première est l'étape d'enregistrement de la procédure de localisation, qui consiste à authentifier le terminal mobile et à mettre à jour sa position. L'étape suivante est la pagination, où la localisation du terminal mobile est recherchée lors du démarrage d'une nouvelle session.

2. **La gestion des Handover** : Un Handover est la procédure par laquelle un terminal mobile peut maintenir une communication tout en se déplaçant d'un site de rattachement (station de base) à un autre point de rattachement. La gestion de la mobilité fait référence à l'ensemble des protocoles de mobilité utilisés dans le cadre d'un réseau hétérogène pour assurer la continuité des communications dans les meilleures conditions.

De plus, la gestion de la mobilité devient de plus en plus difficile car elle nécessite de prendre en compte une variété de facteurs dont la gestion des ressources, la qualité de service et la sécurité [11].

3.2. Types de mobilité

Généralement, on distingue plusieurs types de mobilité en fonction des entités qui sont impliquées [10]. Une connexion réseau peut être définie comme une liaison établie par deux entités qui se trouvent aux deux bouts de la connexion et qui s'envoient des données. Ces entités peuvent désigner les machines, les applications ou même les utilisateurs. Dans ce qui suit, nous présentons les caractéristiques de ces différents types de mobilité [11].

1. Mobilité du terminal : L'expression "mobilité terminale" fait référence à un appareil qui se déplace entre différents points d'accès à un réseau ou entre différents réseaux d'accès tout en ayant toujours accès au même ensemble de services. Ce type de mobilité devrait permettre le déplacement ininterrompu des terminaux [11].

2. Mobilité réseau : Le mouvement de l'infrastructure est lié à la mobilité du réseau. En réalité, le problème avec la mobilité des terminaux est le même que le sous-réseau se déplaçant avec tous ces nœuds. Cependant, lorsqu'un nœud du réseau complet qui se déplace, nous avons également un mécanisme supplémentaire [11].

3. Mobilité de l'utilisateur : La mobilité des utilisateurs est souvent qualifiée de mobilité personnelle. Ce type de mobilité signifie la capacité de l'utilisateur à utiliser n'importe quel terminal pour communiquer par le biais de programmes et de services offerts par n'importe quel réseau. Selon l'endroit où ils se trouvent et ce qu'ils font, les utilisateurs peuvent utiliser des terminologies différentes. En raison de la variété des appareils et des services de communication, les utilisateurs ont plusieurs identités en fonction des applications qu'ils utilisent, y compris leurs adresses e-mail personnelles et professionnelles, leurs numéros de téléphone (mobile ou fixe) et d'autres noms d'utilisateur pour d'autres applications Internet comme la messagerie instantanée, Messagerie et téléphonie Internet [11].

4. Mobilité des services : Quel que soit l'endroit où se trouve un utilisateur individuel (peut-être chez un autre fournisseur d'accès), quel que soit le type de terminal ou de technologie qu'il utilise, la mobilité du service doit lui permettre d'accéder aux services auxquels il a souscrit. Ainsi, en prenant le service VoIP (Voice over IP) comme exemple, l'utilisateur aura accès à sa liste de contacts et à ses préférences médias où qu'il se trouve grâce à son abonnement au service [11].

4. Contraintes et exigences des réseaux hétérogènes

4.1. Contraintes

La notion d'hétérogénéité dans un réseau peut prendre plusieurs formes. Les systèmes de base d'un réseau peuvent être gérés par une variété de fournisseurs de services, peuvent utiliser une variété d'infrastructures de transmission, y compris le câble, le satellite ou la radio, et peuvent également Optimiser les performances de communications mobiles dans un environnement réseau multi-accès en utilisant nombreux types de protocoles, tel que ATM (Asynchronous Transfer Mode) , IP (internet Protocol) et MPLS (Multiprotocol Label Switching), pour la gestion de la mobilité dans des réseaux hétérogènes.

Du point de vue des utilisateurs qui ont besoin de différents services avec différents modes de tarification, le réseau peut être perçu comme hétérogène. Enfin, l'hétérogénéité des réseaux peut également concerner les services mis à la disposition des utilisateurs via diverses technologies ainsi que les différentes normes étant donné que les différentes normes de communication n'appartiennent pas à la même génération et les réseaux ne supportent pas les mêmes types de services.

D'autre part, un environnement réseau hétérogène se caractérise par la complémentarité des technologies d'accès disponibles. A titre d'illustration, la technologie WIFI garantit une meilleure bande passante avec une couverture limitée et de faibles coûts de service, contrairement à la technologie UMTS qui permet une bande passante plus faible avec des coûts de service plus élevé et une meilleure couverture [3].

L'interfonctionnement et la gestion de la mobilité sont deux problématiques qui se posent dans un environnement réseau hétérogène. Un ensemble de mécanismes appelés « interfonctionnement » permet l'interconnexion de différents points d'accès technologiques afin de partager des ressources et des services tout en maintenant l'indépendance des nombreux réseaux fondamentaux. Plusieurs modèles d'interopérabilité entre systèmes hétérogènes peuvent être envisagés. Selon le type de « réseau de couplage » considéré, on peut distinguer les principales approches suivantes [12] [13] :

- **Le couplage léger** : ce type considère l'utilisation de fonctions avancées d'interconnexion dans les réseaux en s'appuyant généralement sur l'utilisation du protocole IP pour l'identification et la mobilité.

- **Le couplage intégré** : fait référence à l'utilisation de mécanismes de coopération directe entre des composants de divers réseaux d'accès, tels que des stations de base, ou à l'intégration de tels composants dans des réseaux d'accès multi-technologies.

Dans le cadre de l'interfonctionnement de réseaux hétérogènes, il est crucial de bien gérer la mobilité des utilisateurs afin de garantir la continuité de service lorsque l'utilisateur passe d'un réseau à l'autre.

4.2. Exigence au niveau de l'utilisateur

L'intégration des réseaux sans fil et mobiles permet l'utilisation d'une variété de technologies pour accéder aux services de réseau. L'utilisateur mobile doit pouvoir se déplacer et communiquer à l'intérieur de ces structures.

Ainsi, dans cet environnement, le terminal de l'utilisateur gère de manière générale la sélection du réseau et contrôle la communication après initialisation, en tenant compte des facteurs clés liés aux réseaux disponibles et aux préférences exprimées par les utilisateurs. C'est pourquoi l'un des éléments clés dans le domaine de ces réseaux est le terminal « intelligent ». Il est toujours de sa responsabilité d'assurer qu'il est connecté au meilleur réseau possible. Il évalue régulièrement la qualité de la connectivité, les réseaux disponibles et les services offerts par chaque réseau. Puis, après avoir pris en compte une stratégie de sélection, il décide de céder le contrôle et de choisir le réseau cible [2].

Par conséquent, deux exigences sont essentielles lorsque l'on parle de terminaux mobiles. Le premier est la capacité du terminal à fonctionner avec tous les réseaux d'accès disponibles. Cet objectif doit être atteint en intégrant plusieurs interfaces à chaque terminal ou des interfaces hétérogènes pouvant s'adapter à diverses technologies d'accès.

Le deuxième facteur est la capacité du terminal à obtenir les données nécessaires, à les traiter, puis à décider de se connecter au réseau souhaité. La conception proposée, basée sur les normes de l'industrie, lui permet de fonctionner avec des réseaux tels que WLAN LAN (Wireless Local Area Network), WiMax (Worldwide Interopérabilité for Microwave Access) et LTE (long Term Evolution), WiMax et LTE 802.21 et 802.11 en tenant compte des préférences de l'utilisateur, des exigences de l'application et des performances et capacités réseaux disponibles [14].

4.3. Avantages des réseaux hétérogènes en entreprises

Les réseaux hétérogènes peuvent offrir plusieurs avantages économiques pour les entreprises. Voici quelques-uns des avantages les plus courants :

- **Utilisation efficace des ressources** : Les réseaux hétérogènes permettent aux entreprises d'utiliser de manière efficace et optimale leurs ressources existantes. Plutôt que d'investir dans une seule technologie ou une seule plateforme, les entreprises peuvent utiliser différents types d'équipements et de technologies pour répondre à leurs besoins spécifiques. Cela permet aux entreprises d'optimiser l'utilisation de leurs ressources et de réaliser des économies importantes sur les coûts d'infrastructure.
- **Flexibilité et évolutivité** : ils permettent aux entreprises de s'adapter facilement aux évolutions du marché et aux différents besoins des utilisateurs. Les entreprises peuvent ajouter de nouveaux équipements et technologies aux réseaux pour répondre aux besoins en constante évolution des utilisateurs et des clients. Cette flexibilité permet aux entreprises de rester compétitives et d'offrir des services de haute qualité à leurs clients.
- **Coûts d'exploitation réduits** : ils peuvent également aider les entreprises à réduire leurs coûts d'exploitation. Les entreprises peuvent utiliser des technologies moins coûteuses là où cela est possible et des technologies plus coûteuses là où cela est nécessaires pour répondre aux exigences de performance. Cela peut réduire les coûts globaux d'exploitation et augmenter la rentabilité de l'entreprise.
- **Réduction des risques** : Les réseaux hétérogènes peuvent réduire les risques pour les entreprises en offrant une meilleure résilience et une meilleure redondance. En utilisant différents types d'équipements et de technologies, les entreprises peuvent réduire les risques de panne et de défaillance du réseau. De plus, en ayant des options de sauvegarde disponibles, les entreprises peuvent minimiser l'impact des incidents de sécurité et des pannes sur leur activité.

En fin de compte, les réseaux hétérogènes peuvent aider les entreprises, ainsi que les habitants de villes intelligentes, à économiser de l'argent, à augmenter leur flexibilité et leur évolutivité, à réduire les risques et à améliorer leur rentabilité globale. Cependant, la mise en place de ces réseaux peut être complexe et nécessite une planification minutieuse et une expertise technique pour assurer un déploiement réussi.

5. Sélection de réseaux

Un algorithme de sélection de réseau est un mécanisme permettant de sélectionner le meilleur réseau pour une connexion donnée. Il peut être utilisé dans des réseaux hétérogènes pour choisir le meilleur réseau parmi une variété d'alternatives disponibles en fonction d'un ou plusieurs facteurs tels que la qualité du service, la disponibilité, la bande passante, la latence, la consommation d'énergie, etc. Les algorithmes de sélection de réseau peuvent être basés sur des méthodes statistiques, des techniques de calcul avec la théorie de la décision ou des méthodes de gestion de l'apprentissage automatique. Il existe plusieurs algorithmes disponibles qui peuvent être utilisés pour choisir un réseau, chacun avec ses propres avantages et inconvénients.

5.1.Métriques de sélection de réseaux

Les algorithmes de sélection de réseau utilisent différents critères afin de choisir le meilleur réseau pour une connexion donnée. Ces critères peuvent varier en fonction des besoins et des exigences des utilisateurs et des applications. Voici quelques-uns des critères couramment utilisés par les algorithmes de sélection de réseau [3] :

- **La qualité de service (QoS)** : La qualité de service fait référence à la performance du réseau en termes de débit, de latence, de gigue et de perte de paquets. Les algorithmes de sélection de réseau peuvent choisir le réseau avec la meilleure qualité de service en fonction des exigences spécifiques de l'application ou de l'utilisateur.
- **La disponibilité** : elle représente la probabilité qu'un réseau soit disponible pour une connexion donnée. Les algorithmes de sélection de réseau peuvent choisir le réseau le plus disponible en fonction des conditions de disponibilité de chaque réseau.
- **Le coût** : c'est le prix ou les frais associés à l'utilisation d'un réseau. Les algorithmes de sélection de réseau peuvent choisir le réseau le moins cher ou le plus rentable en fonction du budget de l'utilisateur.
- **La couverture** : La couverture fait référence à l'étendue de la zone géographique couverte par un réseau donné. Les algorithmes de sélection de réseau peuvent choisir le réseau avec la meilleure couverture en fonction de l'emplacement de l'utilisateur
- **La sécurité** : La sécurité fait référence à la capacité du réseau à protéger les données et les communications contre les attaques et les violations de sécurité. Les algorithmes de sélection de réseau peuvent choisir le réseau le plus sécurisé en fonction des exigences de sécurité de l'application ou de l'utilisateur.
- **La mobilité** : La mobilité est à la capacité de l'utilisateur à se déplacer tout en conservant une connexion réseau stable et fiable. Les algorithmes de sélection de réseau peuvent,

dans ce cas, choisir le réseau qui offre la meilleure mobilité en fonction des habitudes de déplacement de l'utilisateur.

- **La capacité** : La capacité fait référence à la capacité du réseau à gérer un grand nombre d'utilisateurs et de demandes de service simultanément. Les algorithmes de sélection de réseau peuvent choisir le réseau avec la meilleure capacité en fonction du nombre d'utilisateurs actuels et des prévisions de croissance future.

5.2.Processus de sélections de réseaux

Le processus de sélections implique une rotation entre plusieurs RAT (Radio Access Technology), afin d'être toujours servi de manière optimale. Par conséquent, un utilisateur multimode doit pouvoir choisir le réseau optimal en termes de délai, de gigue, de débit et de taux de perte de paquets lorsqu'il prend connaissance de la disponibilité de plusieurs RAT dans sa région. Le processus de Handover (HO), qui peut être centralisé (network-centric) ou décentralisé (user-centric), a deux cas principaux : la procédure NS et le HO. Le processus NS consiste à basculer entre différents RATs, pour être toujours mieux servis [8]. Ainsi, lorsqu'un utilisateur découvre l'existence de divers RAT dans sa zone, il devrait être en mesure de sélectionner le meilleur réseau en termes de délai, de gigue, de débit et de taux de perte de paquets. La procédure NS est le cas général du processus de Handover (HO), qui peut être centralisé (network-centric) ou décentralisé (centrée sur l'utilisateur).

Pour l'approche centrée sur le réseau, l'opérateur contrôle tout le processus et prend des décisions. C'est une bonne stratégie pour éviter les problèmes, tels que le comportement égoïste des utilisateurs qui essayent d'obtenir le meilleur RAT en même temps, ce qui donne dans l'encombrement. En revanche, cette stratégie ne peut être utilisée dans le cas de plusieurs opérateurs. Cependant, les utilisateurs peuvent aussi prendre des décisions par eux-mêmes. Cette approche est connue comme décentralisée et peut facilement générer congestion en raison de la nature égoïste des utilisateurs. De nos jours, presque tous les opérateurs proposent un accès radio 3G et 4G et aussi des connexions Wi-Fi, donc la première approche est plus adaptée à une utilisation régulière [15].

5.3.Evaluation des performances des algorithmes de sélection

L'évaluation des performances des algorithmes de sélection de réseau est une étape cruciale pour déterminer leur efficacité dans différentes situations et environnements de réseau. Les techniques d'évaluation peuvent varier en fonction de la nature de l'algorithme,

des données utilisées et des critères d'évaluation. Voici quelques-unes des techniques couramment utilisées pour évaluer les algorithmes de sélection de réseau :

- **Simulation** : La simulation est une technique courante pour évaluer les performances des algorithmes de sélection de réseau. Elle permet de simuler différentes conditions et environnements de réseau pour évaluer l'efficacité de l'algorithme dans des situations réelles. Les simulations peuvent être effectuées à l'aide d'outils de simulation tels que NS-3 (Network Simulator 3), OPNET (Optimized Network Engineering Tools), OMNET ou MATLAB (MATrix LABoratory).
- **Analyse théorique** : L'analyse théorique peut être utilisée pour évaluer les performances des algorithmes de sélection de réseau en utilisant des modèles mathématiques pour prédire le comportement de l'algorithme. Cela peut inclure l'analyse de la complexité de l'algorithme, les probabilités d'erreur et les temps de convergence.
- **Expérimentation sur un réseau réel** : Les expérimentations sur des réseaux réels peuvent également être utilisées pour évaluer les performances des algorithmes de sélection de réseau. Cela implique de déployer l'algorithme dans un environnement de réseau réel et de mesurer ses performances en termes de qualité de service, de vitesse de transmission des données, de fiabilité, etc.
- **Évaluation comparative** : L'évaluation comparative consiste à comparer les performances de l'algorithme avec celles d'autres algorithmes similaires en utilisant les mêmes données de test. Cela permet de déterminer l'efficacité de l'algorithme par rapport à ses concurrents et de mesurer l'efficacité relative de l'algorithme.
- **Évaluation en utilisant des données réelles** : Les algorithmes de sélection de réseau peuvent être évalués en utilisant des données réelles collectées à partir de différents environnements de réseau. Cela permet de mesurer la performance de l'algorithme dans des conditions réelles et de déterminer sa capacité à gérer efficacement des situations imprévues.

6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le concept des réseaux hétérogènes ainsi que les grands aspects concernant ce domaine ; la définition des algorithmes de sélection de réseau, ses métriques, ses techniques d'évaluations, et les procédures y sont également abordées.

Dans le chapitre suivant, nous détaillons le processus de sélection de réseaux dans des environnements hétérogènes.

Chapitre II : La sélection de réseaux dans un environnement hétérogène

1. Introduction

Il existe différents types d'algorithmes de sélection dans les réseaux hétérogènes, tels que les algorithmes basés sur des règles prédéfinies, les algorithmes basés sur l'apprentissage automatique et les algorithmes d'optimisation. Chaque type d'algorithme présente ses propres avantages et limitations, cependant, le choix de l'algorithme dépend des caractéristiques spécifiques du réseau et des objectifs de performance.

Dans ce chapitre nous abordons le processus Handover dans les réseaux hétérogènes. Nous présentons les principaux travaux connexes liés à notre problématique tout en discutons leurs principes de fonctionnement, avantages et inconvénients. Ensuite, nous détaillons notre contribution et nous terminons avec une conclusion.

2. Processus de Handover dans les réseaux hétérogènes

Dans les réseaux hétérogènes, il existe deux types de Handover: horizontal et vertical. Le Handover horizontal se produit lorsque les deux réseaux d'accès utilisent la même technologie de communication. Ce n'est que lorsqu'un service fourni par un réseau d'accès n'est plus disponible en raison de la mobilité de l'utilisateur que la procédure horizontale de Handover démarre. La nécessité d'améliorer la qualité de service ou d'augmenter la durée de vie de la batterie des appareils des utilisateurs peut entraîner le lancement de Handover verticale [3].

3. Travaux connexes

Il existe différents types d'algorithmes de sélections des réseaux dans un environnement parmi lesquels ont peu cité :

6.1.Algorithme de sélection basée sur la puissance du signal

L'algorithme de sélection de réseau basé sur RSS (Received Signal Strength) est une méthode utilisée dans les réseaux sans fil pour sélectionner le point d'accès (AP) le plus approprié pour un dispositif sans fil en mouvement. L'algorithme utilise la mesure de la

puissance du signal RSS reçu pour sélectionner le point d'accès le plus fort. Le RSS est une mesure de la force du signal sans fil reçu par un dispositif. Les appareils sans fil ont la possibilité de mesurer le RSS pour déterminer la qualité de la connexion avec un point d'accès. Plus le RSS est élevé, plus la qualité de la connexion est bonne. L'algorithme de sélection de réseau basé sur RSS utilise cette mesure pour sélectionner le point d'accès le plus approprié pour un dispositif [9].

Cependant, la sélection de points d'accès en fonction uniquement de la métrique RSS ne garantit pas la satisfaction de l'utilisateur. Les lacunes de cette approche sont fréquemment discutées, par exemple dans [16], où les auteurs discutent de la sous-utilisation des ressources du réseau, d'un manque d'équité et d'un déséquilibre dans la répartition des charges sur le réseau. La méthode de sélection RSS basée sur l'analyse de puissance du signal reçu est typiquement utilisée pour effectuer une transmission intercellulaire. On le trouve dans les travaux [17] et [18], cependant d'autres auteurs, comme [19], soutiennent qu'il n'est utile que pour initier la transmission d'informations intracellulaires et que l'inclusion d'autres métriques de QoS n'est pas nécessaire.

6.2.Algorithme de sélections de réseau basée sur MDP

L'algorithme de sélection de réseau de Markov (MDP), qui est basé sur le processus de décision de Markov, est une méthode utilisée pour choisir automatiquement le réseau qui fonctionnerait le mieux dans un environnement de réseau donné. Le MDP est une approche mathématique pour prendre des décisions dans un environnement probabiliste. Il fait le meilleur plan d'action basé sur ces prédictions en utilisant des probabilités pour prédire les résultats futurs potentiels.

Le MDP est un puissant outil d'aide à la décision qui a été utilisé dans plusieurs études, notamment dans [20] et [21]. Le MDP a également été utilisé dans les travaux [22] et [23]. Cette méthode a la particularité de se baser sur un examen de l'état actuel des systèmes et de leur évolution historique. Cela le rend bien adapté aux réseaux de télécommunications où les caractéristiques des liaisons de communication et le comportement des utilisateurs changent constamment. Les méthodes utilisées pour définir les états des réseaux et résoudre les problèmes peuvent être les mêmes dans tous les articles sur la sélection des réseaux sans fil avec MDP, mais elles peuvent différer dans la manière dont la solution finale est présentée. Malheureusement, en raison de la grande taille du modèle spécifique, la mise en œuvre et l'utilisation du MDP dans des contextes réels sont parfois difficiles [23].

6.3.Algorithme de sélection basée sur les décisions multicritères

L'algorithme de sélection de réseau basé sur les méthodes de décision multicritères est un processus qui permet de choisir le meilleur réseau parmi plusieurs options en utilisant plusieurs critères de décision. La sélection de l'algorithme d'accès utilise souvent la méthode de prise de décision à attributs multiples (MADM) Les valeurs d'attribut collectées par le réseau sont d'abord normalisées à l'aide de MADM, puis elles sont classées en fonction de leur importance. Enfin et surtout, les classements de chaque réseau candidat sont déterminés par les poids et les sommes de ses attributs.

Dans [24] les auteurs décrivent une stratégie de sélection d'accès multi-attributs sensible au contexte à deux mécanismes. Le mécanisme de hiérarchie analytique sensible au contexte est le premier. Le meilleur RAT parmi les RAT disponibles est ensuite sélectionné à l'aide d'une approche sensible au contexte pour la préférence d'ordre par ressemblance avec un mécanisme de solution idéal. Dans [25], ils fournissent une approche de sélection d'accès aux HWN (Heterogenous Wireless Network) basée sur le FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process). Dans cette méthode, l'application vocale, l'application vidéo et l'application au mieux sont représentées par des nombres flous triangulaires, et les poids de la matrice de comparaison sont extraits à l'aide d'un modèle d'optimisation flou non linéaire. Les quatre principales caractéristiques de QoS (bande passante, latence, gigue et taux d'erreur binaire) sont également modélisées par la fonction d'utilité dans cette technique. Enfin, MADM calcule les notes de chaque réseau. Une technique de sélection d'accès avec de nombreuses caractéristiques est proposée dans [26]. Cette méthode utilise le processus de hiérarchie analytique (AHP) pour peser les attributs du réseau en fonction des performances du réseau. Les réseaux candidats sont ensuite triés à l'aide de l'Analyse Relationnelle Grise (GRA).

Dans [27], un algorithme de sélection d'accès orienté utilisateur pour les HWN est proposé, en adoptant une fonction d'utilité pour calculer l'utilité des valeurs d'attributs de réseau et un processus de hiérarchie d'analyse floue (FAHP) pour calculer les poids des valeurs d'attributs de réseau. Au final, il utilise le réseau neuronal flou pour calculer les scores du réseau candidat. Cet algorithme peut modifier les paramètres de la fonction d'appartenance dans le réseau neuronal flou, de sorte que les scores de sortie réels des réseaux candidats soient plus proches des scores de sortie attendus.

6.4.Algorithme de sélection de réseau basée sur la logique floue

Un algorithme de sélection de réseau basé sur la logique floue vise à sélectionner le meilleur réseau disponible en utilisant une logique de raisonnement floue plutôt que binaire.

Contrairement à la logique binaire qui utilise des valeurs booléennes (vrai/faux), la logique floue utilise des valeurs continues (entre 0 et 1) pour représenter des concepts tels que la qualité de service. L'avantage de la logique floue est qu'elle permet une prise de décision plus flexible et plus nuancée qui peut mieux représenter la réalité.

Dans [28], la logique floue est utilisée pour la décision de VHO (Vertical Handover) dans le traitement des paramètres de QoS et des préférences de l'utilisateur. Dans [29] les auteurs ont présenté une méthode floue dite TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) basée sur l'extension floue, qui calcule la proximité relative floue de chaque alternative en résolvant les modèles de programmation non linéaires.

Les algorithmes de sélection de réseau basés sur la logique floue reposent sur un mappage linéaire pour mesurer les attributs et établir des ensembles flous, ne décrivant pas objectivement les informations utilisateur floues ou l'état du réseau. De plus, l'énorme charge de calcul empêche l'application de ces algorithmes dans la sélection entre des réseaux sans fil hétérogènes.

6.5.Algorithme de sélection basée sur MIH

Un algorithme de sélection de réseau basé sur MIH (Media Independent Handover) utilise des informations de qualité de service (QoS) collectées par le protocole MIH pour sélectionner le meilleur réseau disponible pour une application. Le protocole MIH est une spécification de l'IEEE qui fournit un mécanisme pour collecter des informations de QoS à partir de différentes technologies de réseau telles que Wi-Fi, WiMAX et LTE [3].

La sélection de réseau dans les réseaux mobiles est une problématique importante, plusieurs travaux connexes ont étudié les limites de ces algorithmes [26]. Dans ce dernier travail, les auteurs ont évalué les performances de différents déclencheurs de Handover (HO) dans le cadre de la sélection de réseau MIH. Ils ont constaté que les déclencheurs basés sur la qualité de service (QoS) ont donné de meilleurs résultats que ceux basés sur la puissance du signal. Dans [27], les auteurs ont présenté une revue de la littérature sur les algorithmes de sélection de réseau basés sur le MIH. Ils ont conclu que ces algorithmes sont souvent limités par les problèmes de compatibilité entre les différents protocoles de réseaux sans fil. Dans [25], les auteurs ont évalué les performances de différents algorithmes de sélection de réseau basés sur le MIH. Ils ont constaté que ces algorithmes étaient souvent incapables de fournir des résultats optimaux en termes de délai de Handover et de taux de réussite du Handover. Ces travaux montrent que la sélection de réseau dans les environnements mobiles est une

problématique complexe et qu'il existe encore des limites en termes d'efficacité des algorithmes de sélection de réseau basés sur le MIH [3].

6.6.Algorithme de sélection de réseau basée sur l'apprentissage

L'algorithme de sélection de réseau basé sur l'apprentissage (ou LRA, Learning-based Network Selection en anglais) est une technique qui utilise des méthodes d'apprentissage automatique pour sélectionner le meilleur réseau parmi plusieurs alternatives disponibles, en se basant sur les conditions environnementales et les préférences de l'utilisateur. Il fonctionne en trois étapes principales :

1.Collecte de données : les données de mesure telles que le signal RSSI (Received Signal Strength Indication) et les informations de qualité de service (QoS) sont collectées à partir des différents réseaux disponibles.

2.Traitement des données : les données collectées sont préparées et traitées pour être utilisées comme entrées pour un algorithme de classification.

3.Sélection du réseau : à l'aide d'un algorithme de classification, l'algorithme LRA détermine le réseau optimal pour l'utilisateur en fonction des mesures collectées et des préférences de l'utilisateur.

Dans [28], Cette étude a proposé une approche d'apprentissage en profondeur basée sur un réseau de neurones pour améliorer la précision de la sélection de réseau. Les résultats ont montré que cette approche peut améliorer considérablement la qualité de service (QoS) de l'utilisateur par rapport aux approches traditionnelles de sélection de réseau. Ce travail et bien d'autres encore montrent que l'algorithme de sélection de réseau basé sur l'apprentissage peut être une technique efficace pour améliorer la qualité de service de l'utilisateur dans les réseaux sans fil hétérogènes, mais qu'il est également important de tenir compte des limites et des problèmes de sécurité et de confidentialité des données liés à cette technique .

6.7.Algorithme de sélection de réseaux basée sur la QoS

Un algorithme de sélection de réseau basé sur la QoS est utilisé pour choisir le meilleur réseau parmi plusieurs options disponibles en fonction des exigences de l'application et des performances du réseau. Voici sa synthèse :

1. Définition des exigences de l'application : L'algorithme doit prendre en compte les exigences de l'application en termes de débit, de latence, de taux d'erreur et d'autres paramètres pertinents.

2. Collecte des informations sur les réseaux disponibles : L'algorithme doit collecter des informations sur les réseaux disponibles, telles que leur bande passante, leur latence, leur taux d'erreur, leur disponibilité, leur coût, etc.

3. Attribution des poids aux paramètres : en général, un tel algorithme attribue des poids aux différents paramètres en fonction de leur importance pour l'application.

4.Évaluation des performances des réseaux : L'algorithme doit évaluer les performances des différents réseaux en fonction des exigences de l'application et des poids attribués aux paramètres.

5. Sélection du meilleur réseau : L'algorithme doit sélectionner le meilleur réseau en fonction des performances évaluées.

6. Surveillance et ajustement : L'algorithme doit surveiller en permanence les performances du réseau sélectionné et ajuster la sélection si nécessaire.

Dans [29], les auteurs proposent un cadre pour la sélection de réseau basée sur la QoS qui prend en compte plusieurs critères tels que le débit de données, la latence et la fiabilité, ils proposent une approche de prise de décision multicritère pour la sélection.

6.8.Algorithme de sélection de réseaux basée sur la régression linéaire

La régression linéaire est l'un des outils statistiques les plus largement et fréquemment utilisés. Malgré des centaines d'années de recherche les applications modernes de la régression linéaire à de grands ensembles de données présentent un certain nombre de nouveaux défis. Les applications modernes de régression linéaire, telles que les études d'association à l'échelle du génome (GWAS), considèrent souvent des ensembles de données qui ont au moins autant de variables potentielles (ou caractéristiques) qu'il y a de points de données. L'application de la régression linéaire à des ensembles de données de grande dimension implique souvent la sélection d'un sous-ensemble de caractéristiques pertinentes, un problème connu sous le nom de sélection de caractéristiques dans la littérature sur les statistiques et l'apprentissage automatique [20].

4. Comparaison et discussion

Dans le tableau 1, nous présentons les principaux avantages et inconvénients des algorithmes discutés dans la section précédente.

TABLEAU 1 Comparaison entre les différents algorithmes de sélections de réseaux

Algorithmes	Critères de sélection	Types de réseaux	Avantages	Inconvénients
RSS	La force du signal	WIFI, Bluetooth	Facile à mettre en œuvre	Peut sélectionner un réseau congestionné ou instable
MIH	Utilisent des informations de contexte telles que la vitesse de déplacement, la Position géographique, la qualité du signal, etc. pour sélectionner le meilleur réseau.	Réseaux sans fil, Réseaux d'entreprise	Peut améliorer la sélection du réseau en fonction du Contexte de l'utilisateur	Nécessite des périphériques et des réseaux compatibles MIH
Multicritères	Bande passante, latence	Réseaux filaire	Les méthodes sont flexibles et peuvent être adaptées à différents problèmes et domaines d'application.	Très complexes, avec des calculs intensifs et une combinaison de plusieurs méthodes d'analyse multicritère
MDP	Utilisent la probabilité de transition entre différents états de réseau pour sélectionner le meilleur réseau.	Réseaux d'entreprise	Garantie une sélection optimale du réseau	Nécessite une grande quantité de ressources de calcul et de stockage

QOS	La qualité de service	Réseaux mobile, réseau sans fil	Permet d'assurer une expérience utilisateur de qualité	Peut nécessiter une grande quantité de ressources de calcul et de stockage
Régression linéaire	Données historiques pour modéliser la relation entre les différentes variables et prédire la qualité variable	Réseaux sans fil	Plus sensible aux outliers, car il utilise la méthode des moindres carrés, qui donne une importance	Moins facilement interprétable car il utilise une formule mathématique
Apprentissage	L'algorithme doit être capable de gérer les données d'entrée Spécifiques, telles que la qualité de service, la bande passante, la latence, la gigue, etc.	Réseaux de neurones	Peuvent être complexes, mais ils sont généralement plus rapides que les méthodes de sélection de réseau de décision multicritères.	Complexes
Logique floue	La qualité de service, la disponibilité du réseau, le coût, la sécurité, etc.	LTE,3G, réseaux mobile	Peut garantir une sélection optimale du réseau	Peut nécessiter une quantité importante de ressources de calcul

En plus des inconvénients de tous les travaux cités dans le tableau 1, on remarque que la décision est en général basée sur plusieurs paramètres ou nécessite une quantité importante de données et/ou ressources de calcul, ce qui augmente certainement le temps de décision Handover et parfois il réduit le taux de réussite de l'algorithme de sélection vu la mobilité continue des nœuds.

En effet, durant le temps de transfert entre un réseau et un autre, appelé temps de Handover (ou temps de latence du Handover), le nœud mobile est incapable de recevoir des

paquets du réseau qu'il est en train de quitter et ne peut pas encore recevoir des paquets du réseau sur lequel il va [30]. Ce qui augmente la latence ou peut engendrer de pertes de données.

Par conséquent, notre objectif dans ce travail est de réduire le temps de reconnexion en se basant principalement sur les deux critères suivants : la distance et la latence. Aussi, on s'intéresse principalement à proposer une formule simple et efficace afin de réduire le temps de décision.

5. Contribution

Il existe un grand nombre de travaux sur les algorithmes de sélection de réseaux. Cependant, d'après les travaux connexes que nous avons présenté aucun algorithme standard ou méthode de sélection n'a été adopté à grande échelle. Notre contribution à la résolution de cette problématique de sélection de réseau dans les environnements hétérogènes intègre les éléments énumérés ci-dessous et vise à rendre plus pratique (pour l'utilisation dans les équipements possédant des ressources limitées), plus équitable envers les parties concernées qui sont les utilisateurs.

5.1. Un algorithme basé sur la QoS

Notre proposition permettra à un appareil de sélectionner le réseau le plus approprié en fonction des critères de QoS prédéfinis. L'objectif est de fournir la meilleure expérience utilisateur possible en choisissant le réseau offrant les meilleures performances pour une utilisation donnée.

1. Définition des critères : notre algorithme repose sur plusieurs critères à savoir :

- **La latence :** qui représente le temps de propagation nécessaire pour que les données parcourent l'ensemble du réseau jusqu'à leur destination. La latence est généralement mesurée en millisecondes (ms) et peut varier en fonction de nombreux facteurs, tels que la longueur de liens de communication, la distance entre les deux points de communication, la qualité de la connexion, nombre de nœuds par réseau, etc.
- **La distance :** entre un point d'accès disponible et le nœud mobile.
- **L'énergie :** représente le niveau d'énergie de chaque point d'accès.

- **La capacité réseau** : représente le nombre maximal des nœuds qui peuvent connecter à ce réseau en même temps. Pour des raisons de simplification, on suppose ici que les capacités des réseaux est infinies ;
- **Le nombre effectif des nœuds connectés** : représentant le nombre de nœuds connecté à chaque point d'accès.

2. Collecte des informations sur les réseaux disponibles : Dans cette étape, des informations sur les réseaux disponibles doivent être collectées. La collection des informations peut se faire en mode actif ou passif.

- **Le mode actif** : également appelé exploration active, est une méthode utilisée dans le domaine des réseaux informatiques pour détecter et analyser les dispositifs actifs sur un réseau. Il implique l'envoi de requêtes spécifiques, par le nœud désirant se connecter à l'un de réseaux disponibles, aux dispositifs ou points d'accès pour obtenir des réponses et ainsi déterminer leur état et leurs fonctionnalités.
- **Le mode passif** : est une méthode utilisée dans le domaine des réseaux informatiques pour observer et analyser le trafic réseau sans émettre de requêtes actives ou intrusives. Les nœuds du réseau se contentent d'écouter et d'analyser les informations qui transitent sur le réseau.

3. Pondération des mesures de performance : Dans cette étape, nous attribuons une pondération aux différentes mesures de performances en fonctions de leur importance. Dans ce mémoire, toutes les pondérations égales à 1.

4. Évaluation des critères de la qualité de service des réseaux disponibles : Après avoir collecté les informations sur les réseaux disponibles, la qualité de service de chaque réseau sera évaluée en fonction des critères de QoS et leurs pondération définies dans la première étape comme suit : $Latence_i = latence_i * Pondération_1$, $Distance_i = distance_i * pondération_2$, $Energie_i = energie_i * pondération_3$, etc.

5. Attribution d'une note globale à chaque réseau : Après avoir pondéré les différentes mesures de performance, une note globale sera attribuée à chaque réseau en fonction de sa qualité de service. Cette note est utilisée pour classer les réseaux disponibles en fonction de leur qualité de service globale.

$$QoS_i = (\text{distance} + \text{latence} + \text{nombre des nœuds connectés} / \text{capacité_réseau}) / \text{énergie}$$

Sachant que QoS_i est le résultat de cette formule pour un réseau i ,

6. Sélection du réseau optimal : Enfin, le réseau avec la meilleure qualité de service globale sera sélectionné pour répondre aux exigences de QoS de l'application.

$$\text{meilleur-réseau} = \min(QoS_i)$$

Pour évaluer la performance de notre proposition en fonction de différents scénarios d'utilisation et de différents réseaux pour s'assurer qu'il fonctionne correctement et qu'il répond aux besoins des utilisateurs. Des tests et des simulations seront utilisés pour cette étape.

5.2.L'Algorithme proposé

Dans cette section, nous présentons notre algorithme proposé.

Algorithme 1 : Algorithme Proposé

```
NombreRéponse : entier initialisé à 0 ;
/* Collecte des informations sur les réseaux disponibles
Si le nœud est un nœud initiateur alors
Tant que NombreRéponse= =0 Faire
Début
  ∀ PAi ∈ liste-points-accès-diponbles faire
    • Broadcast (demande_info, date ; TTL) vers PAi
      Tant que (temps-ecoulé < temps-attente) faire
        ○ Récevoir (réponsej, PAi)
        ○ NombreRéponse=NombreRéponse+1 ;
    • Fin tant que ;
Fin ;
/* Calcul d'une note globale pour chaque PAj
    • Latencei=latencei*Pondération1 ;
    • Distancei=distancei*pondération2 ;
    • Energiei=energiei*pondération3 ;
    •  $QoS_i = (distance + latence + nombre\ des\ nœuds\ connectés / capacité\_réseau) / énergie$ 
/* Choix du meilleur réseau
    • Meilleur-réseau= min (QoSi ) ;
Authentification (Meilleur-réseau) ;
Association (Meilleur-réseau) ;
Sinon
    • Lors la reception(demande_info, noeudi) par les points d'accès :
      ○ Envoie(informations tels que : énergie, nombre de nœuds connectés, nombre de saut, distance et latence) vers le nœud ;
```

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présentés la motivation de cette recherche sur la sélection des réseaux dans les environnements hétérogènes. Ensuite, nous avons fait un survol sur les différents algorithmes de sélection existants. Enfin nous avons souligné les points essentiels de notre contribution à la recherche de solution optimale pour ce problématique.

Dans le chapitre suivant, nous présentons les principales étapes d'implémentation et réalisation de notre application.

Chapitre III : Implémentation et réalisation

1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons un modèle général du système implémenté, un organigramme d'exécution, un diagramme de séquence de notre proposition ainsi qu'une description générale du simulateur utilisé. Ensuite, nous présentons les paramètres de notre simulation ainsi qu'un scénario d'exécution et toutes les interfaces graphiques réalisées et enfin une conclusion.

2. Conception et modélisation

Dans cette section nous présentons les principales étapes de conception de notre application.

2.1. Modèle du système

La topologie utilisée pour la simulation est illustrée dans la figure suivante ; elle est composée de deux points d'accès wifi, d'un serveur et d'une station de base chacune contenant des utilisateurs connectés dans leur zone de couverture respective. Avant de se connecter chaque utilisateur, souhaitant se connecter à l'un des réseaux disponibles, sélectionne le meilleur point d'accès. Nous avons aussi dans ce modèle un utilisateur mobile à la recherche du meilleur point d'accès.

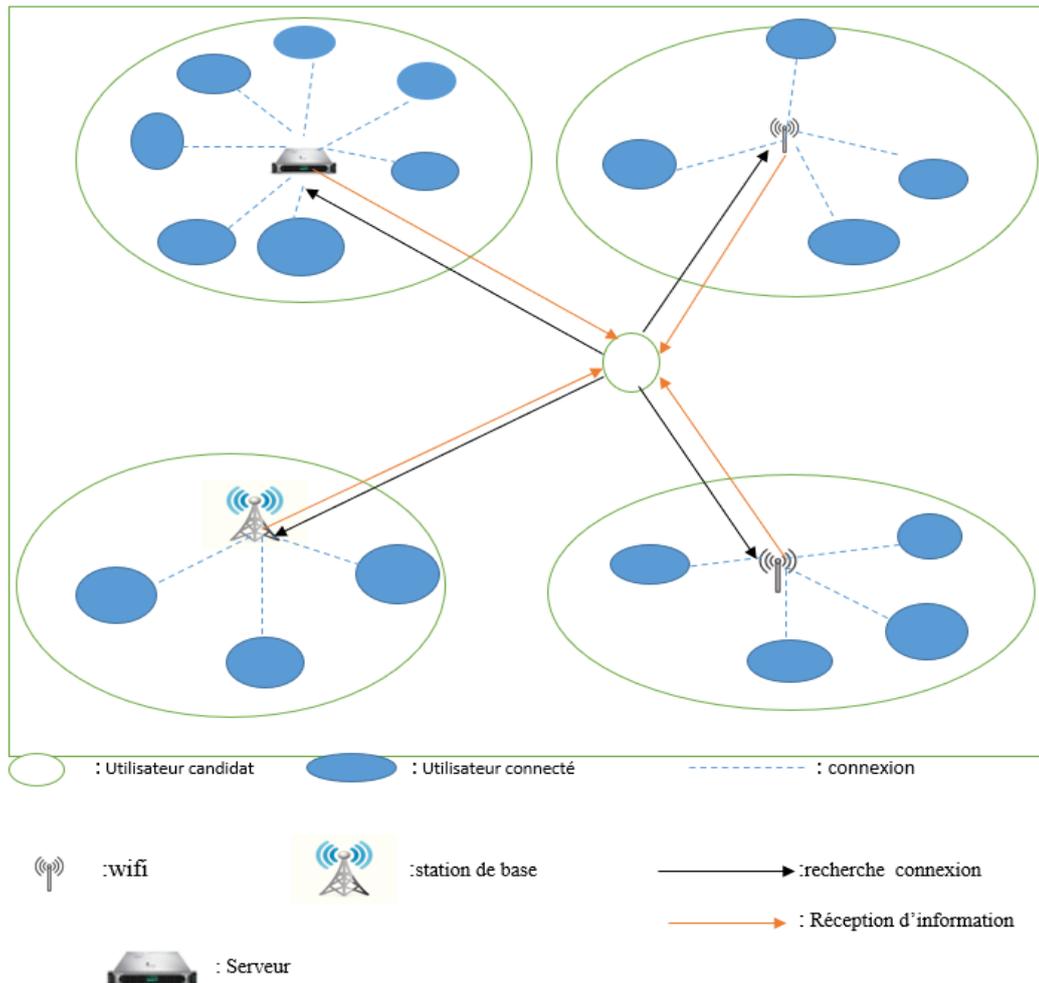


Figure 3 : Modèle de simulation.

2.2.Organigramme d'exécution

L'organigramme est une représentation graphique d'un algorithme. C'est le plus ancien des représentations et il constitue un diagramme qui montre le cheminement des données dans un programme, ainsi que les opérations pratiquées sur ces données lors des différentes étapes du traitement.

Les étapes fondamentales pour créer un organigramme sont les suivantes : (1) Définir l'objectif de l'organigramme, (2) Identifier les différents postes et fonctions, (3) Structurer les relations hiérarchiques, (4) Créer le diagramme et en fin (5) Finaliser et réviser .

Le diagramme suivant détail le processus d'exécution complet de notre algorithme, il explique en détail l'ensemble des processus pour mener à bon terme les techniques et les méthodes utilisés pour concevoir l'algorithme de sélection de réseaux basés sur plusieurs critères définis plus haut.

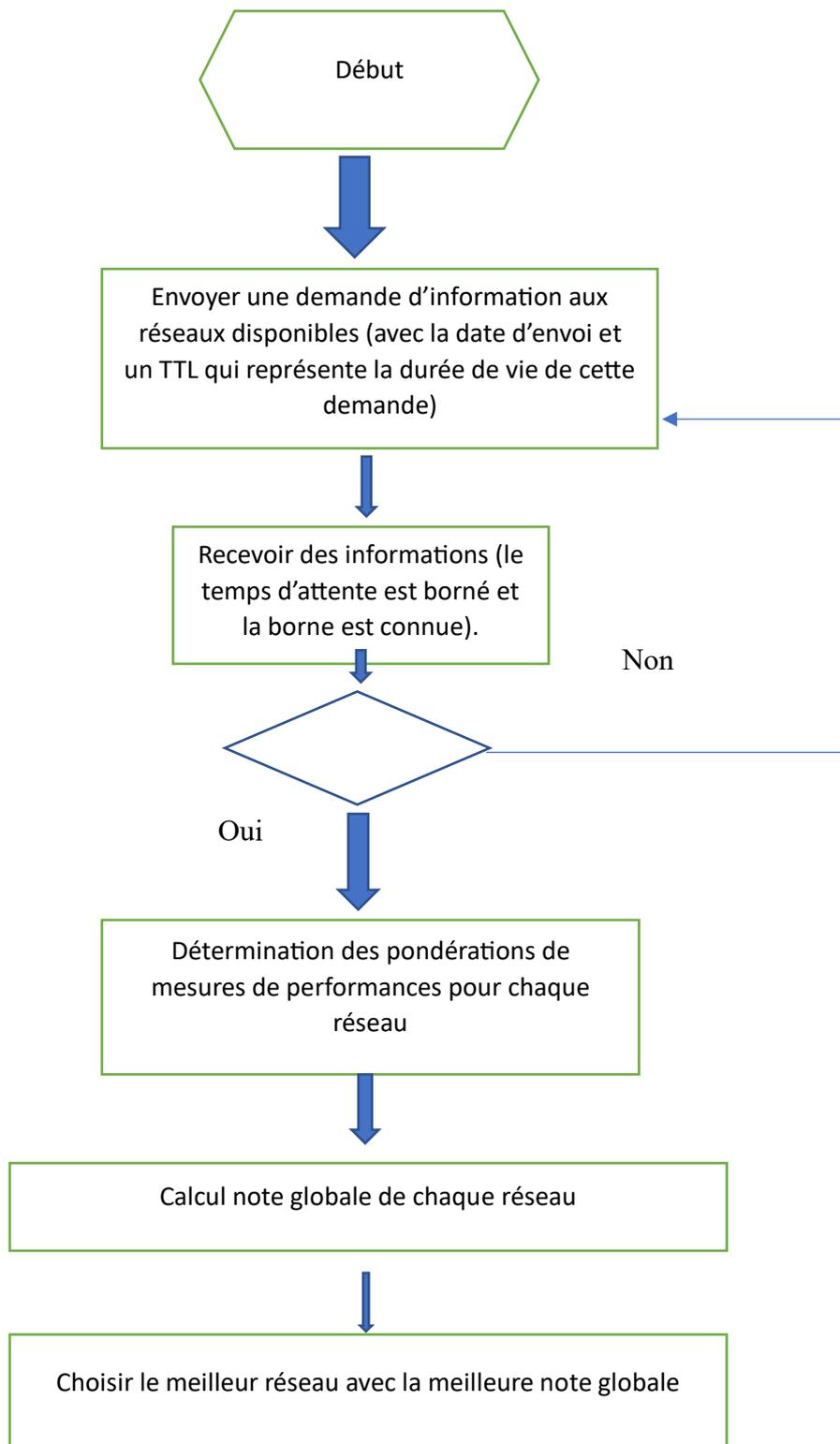


Figure 4: Organigramme de l’algorithme.

TTL : Time To Live.

2.3. Diagramme de séquence

Un diagramme de séquence est un type de diagramme d'interaction, il décrit comment et dans quel ordre plusieurs objets fonctionnent ensemble. Ces diagrammes sont utilisés par les développeurs logiciels pour analyser les besoins d'un nouveau système ou documenter un processus existant. Les diagrammes de séquence sont parfois appelés diagrammes d'événements ou scénarios d'événements.

Un diagramme de séquence se compose comme suit :

- **Acteurs :** Les acteurs sont les entités externes qui interagissent avec le système, tels que les utilisateurs, les dispositifs externes, les systèmes tiers, etc. dans notre cas, on a un seul acteur qui est le nœud mobile à la recherche du meilleur réseau.
- **Objets :** Les objets représentent les éléments internes du système avec lesquels l'acteur interagit. Les objets de notre diagramme sont les réseaux disponibles et le meilleur réseau ;
- **Messages :** Les messages représentent les communications échangées entre les acteurs et les objets. Ils peuvent être synchrones ou asynchrones, selon le contexte. Les messages échangés dans notre diagramme sont la demande d'information, la réception de réponses, l'authentification et l'association.
- **Lignes de vie :** Les lignes de vie représentent les instances des objets participant à l'interaction. Chaque ligne de vie est associée à un objet et suit son cycle de vie pendant l'interaction.
- **Fragments de séquence :** Les fragments de séquence représentent des structures de contrôle, telles que les boucles, les conditions, les itérations, etc. Ils permettent de représenter des séquences d'actions complexes dans le diagramme de séquence.
- **Durée :** La durée est représentée sur l'axe vertical du diagramme de séquence. Elle représente le temps écoulé pendant l'interaction.

En utilisant ces éléments, un diagramme de séquence permet de modéliser les interactions entre les acteurs et les objets du système dans un ordre chronologique. Cela peut aider à comprendre le comportement du système dans différentes situations et à identifier les problèmes potentiels.

Le diagramme suivant décrit le processus de création de notre algorithme de sélection de réseau.

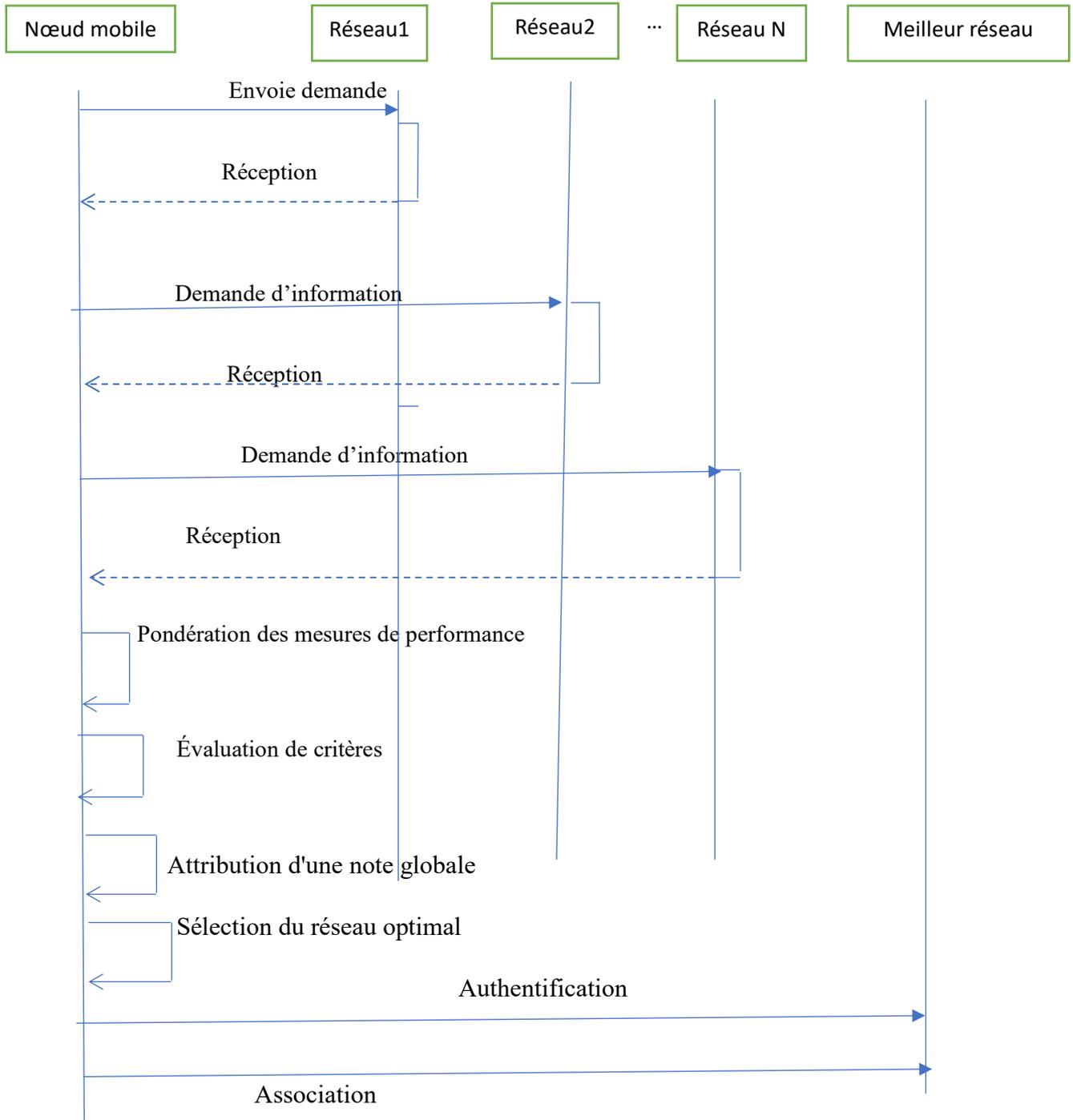


Figure 5: Diagramme de séquence.

3. Implémentation

3.1. Présentation de matériel et logiciel utilisés pour l'implémentation

Nous avons utilisé le simulateur OMNet++ pour l'implémentation de notre système, précisément la version omnetpp-6.0.1. Ce choix est basé spécialement sur la stabilité de

OMNet++ ainsi que la disponibilité des documentations requise pour le développement des objectifs visés.

Nous avons utilisé également une machine HP i5 avec 8 Go de RAM et possédant un système d'exploitation « Windows 11 ».

3.2.OMNet++

Omet++ est une bibliothèque et un Framework de simulation C++ extensible, modulaire et basé sur des composants, il est principalement utilisé pour créer des simulateurs de réseau. Les capacités propres à un domaine, telles que la gestion des réseaux de capteurs, les réseaux sans fil ad hoc, les protocoles Internet, la modélisation des performances, les réseaux photoniques, etc., sont fournis par des modèles cadres qui ont été développés en tant que projets indépendants. OMNeT++ fournit un IDE basé sur la plate-forme Eclipse, un environnement d'exécution graphique et une variété d'autres outils. Il existe des extensions pour la simulation et l'émulation en temps réel, l'intégration de base de données, l'intégration System C et plusieurs autres fonctions. OMNeT++ est distribué sous licence publique académique [31].

Domaines d'utilisation : OMNet++ peut être utilisé dans une variété de domaines et problématiques en raison de son architecture Générique [32] :

- Simulation de réseaux de données cellulaires et sans fil ;
- Modification des protocoles et des réseaux pour les listes d'attente ;
- Modélisation multiprocesseur et autres systèmes matériels distribués ;
- Tout système où l'approche par événements discrets est appropriée et facilement cartographiable en entités communiquant par échange de messages fait l'objet d'une modélisation et d'une simulation dans le cadre de la validation des architectures Physiques, qui évaluent les aspects performances des systèmes logiciels complexes en général.
- Etc.

Composants : les principaux composants de l' OMNet++ sont [32] :

- Bibliothèque du noyau de simulation (C++)
- Le langage de description de la topologie NED ;
- IDE de simulation basé sur la plateforme Eclipse ;
- Interface graphique d'exécution de simulation interactive (Qtenv) ;

- Interface de ligne de commande pour l'exécution de la simulation (Cmdenv) ;
- Utilitaires (outil de création de makefile, etc.) ;
- Documentation, exemples de simulations, etc.

La conception d'OMNET : OMNeT++ a été créé dès le départ pour gérer la simulation de réseau à grande échelle. Cet objectif conduit aux exigences majeures suivantes pour la conception.

- Les modèles de simulation doivent être hiérarchiques et construits en utilisant autant de composants réutilisables que possible afin de permettre une simulation à grande échelle.
- Afin de réduire le temps de débogage, qui occupe traditionnellement une grande partie des projets de simulation.
- Le logiciel de simulation doit faciliter la visualisation et le débogage des modèles de simulation. Le même ensemble de fonctionnalités peut être utile lors de l'utilisation du logiciel à des fins éducatives.
- Le logiciel de simulation lui-même doit être flexible, personnalisable et permettre l'intégration de simulations dans des applications plus vastes comme un logiciel de planification de réseau.
- Les interfaces de données doivent être ouvertes : il doit être possible de générer et de traiter des fichiers d'entrée et de sortie avec des outils logiciels couramment disponibles.
- Doit fournir un environnement de développement intégré qui facilite largement le développement de modèles et l'analyse des résultats.

Des modèles : D'innombrables modèles de simulation et cadres de modèles ont été développés pour OMNeT ++ au fil des années, il a été disponible, y compris des modèles pour les listes d'attente, la modélisation des ressources, les protocoles Internet, les réseaux sans fil, les réseaux locaux, les réseaux peer-to-peer, la distribution multimédia, le sans-fil mobile réseaux, réseaux de capteurs sans fil, réseaux sans fil pour véhicules, NoC, réseaux optiques, systèmes HPC, cloud computing et SA. La majorité de ces cadres de modèles sont open source, développés en tant que projets indépendants et suivent leurs propres cycles de publication. Nous pouvons considérer le framework INET comme la bibliothèque de modèles de protocole standard d'OMNeT++. INET comprend des modèles pour l'infrastructure Internet ainsi que de nombreux autres protocoles et composants. L'équipe OMNeT++ maintient le framework INET au nom de la communauté en utilisant des correctifs et de nouveaux modèles que les membres de la communauté contribuent. INET est à la base de plusieurs autres frameworks de simulation

qui l'étendent dans certains domaines, tels que les réseaux de véhicules (Veins, CoRE), les réseaux peer-to-peer (OverSim) ou LTE (SimuLTE) [31].

Les types de module : Les types de module sont des exemples de modules de base et complexes. Les catégories de modules sont spécifiées par l'utilisateur lors de la description du modèle ; les instances de ces types de modules agissent comme des blocs de construction pour des types de modules plus complexes. Tous les modules du réseau sont construits en tant que sous-modules et sous-sous-modules du module système, qui est créé par l'utilisateur en tant qu'instance d'un type de module préalablement spécifié.

Qu'un type de module soit un module de base ou un module complexe n'a aucune incidence lorsqu'il est utilisé comme élément de construction. Cela permet à l'utilisateur de combiner la fonctionnalité d'un module composé en un seul module simple ou de diviser un module simple en plusieurs modules simples contenus dans un module composé sans affecter les utilisateurs actuels [32].

Modélisation : Les modules d'une architecture OMNeT++ échangent des messages afin d'interagir. Le package de classe de simulation est utilisé pour créer les modules actifs, appelés modules de base et écrits en C++. Les modules composés peuvent être subdivisés en modules simples, et ainsi de suite ; il n'y a pas de limite au nombre de couches hiérarchiques. L'ensemble de l'architecture, appelée réseau dans OMNeT++, est un package composé à lui tout seul. Les messages peuvent être envoyés directement à d'autres modules ou via des liens qui transcendent les modules. Les modules simples et composés ont une idée comparable aux Structures atomiques et couplées de DEVS [31].

La conception du langage NED : Dans le langage de description de topologie, NED, d'OMNeT++, l'utilisateur spécifie la structure du modèle (les composants et leurs connexions). Les déclarations de modules simples, les définitions de modules complexes et les spécifications de réseau sont des composants courants d'une description NED. Des instructions de module simples décrivent les entrées et les portes qui composent l'interface du module. La déclaration de l'interface extérieure du module, ainsi que la description des sous-modules et la façon dont ils sont connectés, constituent des définitions de modules composés. Les éléments composés connus sous le nom de spécifications de réseau peuvent être des modèles de simulation autonomes.

Bien que le langage NED ait été créé pour bien se développer, les augmentations récentes de la quantité et de la complexité des modèles de simulation et des cadres de modèles basés sur OMNeT++ ont nécessité qu'il soit également amélioré [32].

L'architecture de la bibliothèque de simulation : Pour l'implémentation de modules simples, l'OMNeT++ offre une bibliothèque d'objets complète. Cette bibliothèque diffère des autres bibliothèques à usage général ou de simulation de plusieurs manières. La fonction de réflexion fournie par la bibliothèque de classes OMNeT++ permet la mise en œuvre de capacités de traçage et de débogage de haut niveau ainsi que d'une animation automatisée en plus (comme démontré par l'interface utilisateur Tkenv, voir ci-dessous). Dans les applications C++ non conçues par des experts, les fuites de mémoire, les alias de pointeur et d'autres problèmes d'allocation de mémoire sont fréquents. OMNeT++ résout ce problème en suivant la propriété des objets et en identifiant les failles provoquées par les pointeurs alias et l'utilisation inappropriée des objets partagés [32].

Éditeur visuel : Le logiciel OMNeT++ dispose d'un environnement de développement intégré avec un éditeur graphique qui gère le code alphanumérique NED, même lorsqu'il est écrit manuellement, et utilise NED comme format de fichier principal. L'éditeur est un outil entièrement bidirectionnel qui permet à l'utilisateur de basculer à tout moment entre les vues source graphique et NED pour modifier la structure organisationnelle du réseau. Ceci est rendu possible par les décisions prises tout au long du processus de création du langage NED. Tout d'abord, NED étant un langage déclaratif, il ne définit pas la structure interne d'un module composite à l'aide d'un langage informatique impératif. Si des structures informatiques aléatoires étaient autorisées, il serait très difficile de développer des outils graphiques bidirectionnels qui pourraient interagir avec du contenu produit manuellement [32].

Progrès pour OMNet++: Le Mobility Framework et le INET Framework sont actuellement les deux principaux outils de modélisation de réseau pour OMNeT++. Le cadre de mobilité a été développé pour donner aux développeurs OMNeT++ une base solide sur laquelle construire des réseaux cellulaires et mobiles. Il propose un modèle radio complet, un certain nombre de modèles de mouvement, des modèles MAC, y compris IEEE 802.11b, et un certain nombre d'autres éléments. D'autres cadres de modèles ont également été publiés pour les modèles mobiles, ad hoc et de L'IP Suite, qui a d'abord été créée à l'Université de Karlsruhe, est devenue le Framework INET. Pour TCP, IPv4, IPv6, Ethernet, Ieee802.11b/g, MPLS, OSPFv4 et un certain nombre d'autres protocoles, il propose des modèles de protocole complets. Le serveur

de routage Quagga, qui a été immédiatement copié à partir de la base de code Linux, fait également partie d'INET.

Pour le Framework INET, plusieurs auteurs ont créé différentes extensions. Les réseaux P2P sont modélisés à l'aide d'Over Sim au-dessus du Framework INET. Le Framework INET prend également en charge AODV-UU, DSR en tant que module complémentaire. Sur les réseaux filaires et cellulaires, les modèles MIPv6 et HMIPv6 ont été activés par IPv6Suite (abandonné en 2007). La pile de protocoles TCP/IP du noyau FreeBSD peut être utilisée immédiatement dans une simulation OMNeT++ grâce à l'architecture OppBSD . FieldBus SimSANS et Infiniband sont des modèles de modélisation supplémentaires qui ont été publiés.

L'API de la bibliothèque de simulation peut être mappée à des langages de programmation autres que C++. Il existe déjà un support tiers pour Java et C #, ce qui permet d'écrire un comportement de module simple dans ces langages.

4. Paramètres de simulation

Paramètres du système

Les paramètres de notre simulation sont représentés dans le tableau 2.

Paramètres	Valeur
Position	Random
Nombre des noeuds	1
Nombre des point d'access	variable (0→20)
Taille du réseau	640m*640m
Modèle de la mobilité	Linear Mobility
Vitesse	20 m/s
Temps de simulation	100 s
Couche physique	Ieee80211ScalarRadio
Topologie	uniform

Tableau 2. Paramètres de simulation.

5. Scenario de simulation

Dans cette section, nous présentons un scénario d'exécution de notre application.

5.1 . Interface graphique de la simulation

Dans cette section nous pouvons visualiser l'environnement sur le quel la simulation a été réalisé. Ses différents composants sont (figure 5) :

- ✓ Visualizer: il permet de visualiser graphiquement les résultats de la simulation (affichage de la topologie réseau).
- ✓ radioMedium: permet la modélisation des communications sans fil dans le réseau simulé.
- ✓ Host: représente le nœud mobile à la recherche du meilleur point d'accès.
- ✓ Point d'accès (AP1, AP2, AP3, AP4, AP5): est un dispositif matériel qui permet la connexion de périphériques sans fil à un réseau local (LAN) ou à Internet.
- ✓ Cercle en bleu: représente la zone de couverture spécifique pour chaque point d'accès.
- ✓ La batterie: représente le stockage d'énergie nécessaire pour chaque nœud dans le réseau pour exécuter des tâches.

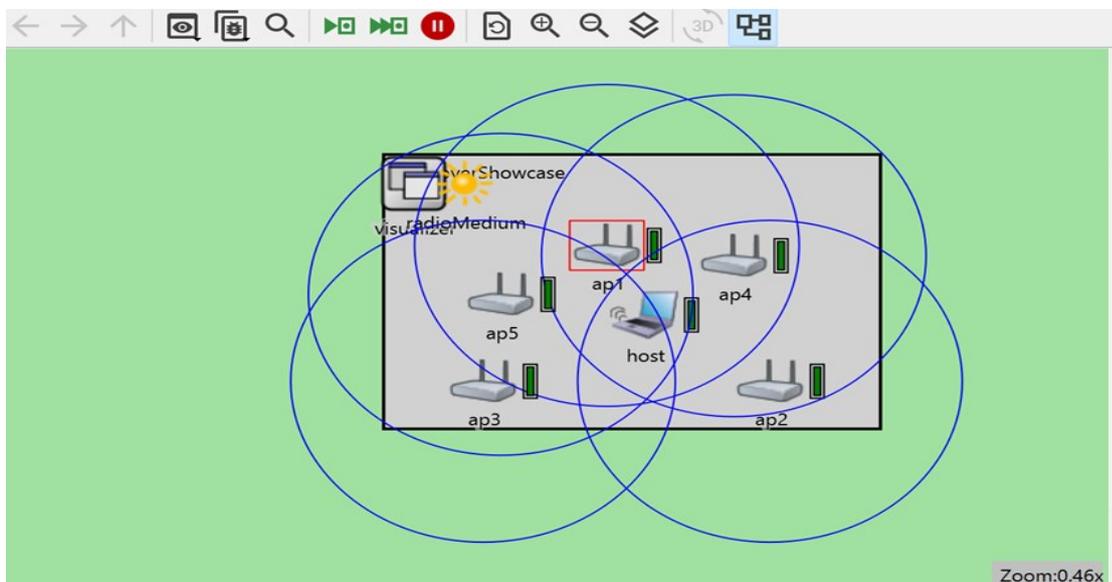


Figure 6: Interface graphique du modèle simulé.

5.2. Interfaces lors de l'exécution

On a deux type cas d'évènements dans ce cas :

- **Au niveau du point d'accès :** dans cette partie le point d'accès AP1 envoie un Wireless signal beacon pour indiquer sa présence au niveau de l'environnement (figure 6), et il en est de même pour tous les autres points d'accès consécutivement.

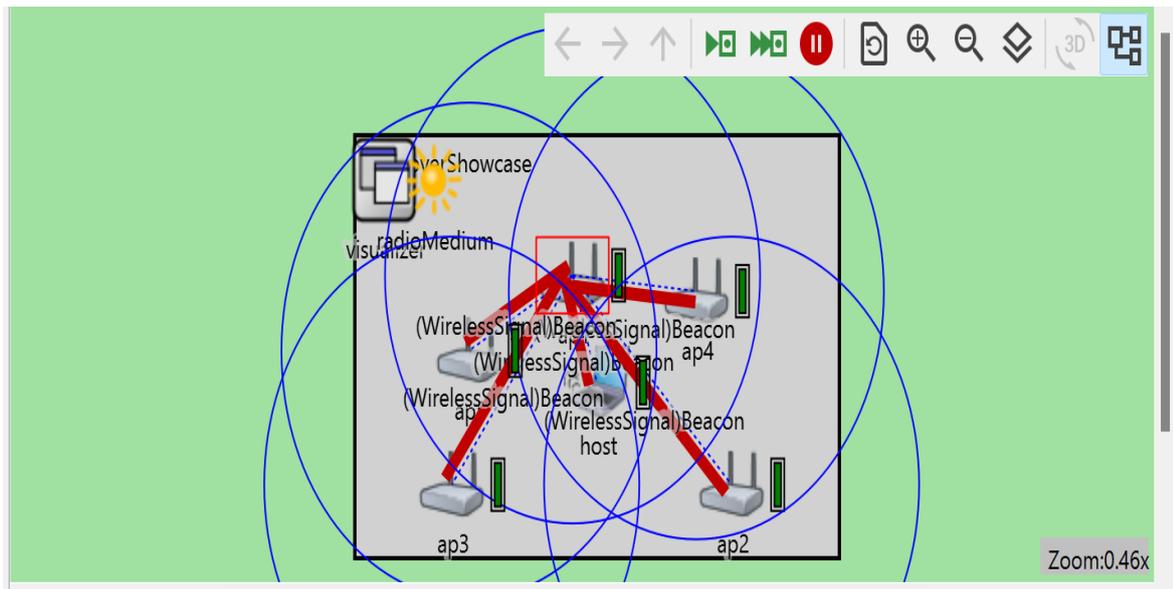


Figure 7 : Envoie du signal de présence au niveau du point d'accès.

- **Au niveau de l'Host :** le nœud mobile envoie une demande générale à tous les points d'accès leur demandant de lui fournir des informations (figure 7). Nous avons utilisé une table qui contient la liste des points d'accès disponibles. Cette liste est mis à jour a chaque réception d'un signal beacon de la façon suivante :
 - Si le point d'accès émetteur de ce signal n'existe pas dans le nœud courant, alors ce dernier le rajoute. Sinon, il met à jour les informations du point d'accès dans la table.

Nous sommes dans le mode active scanning : Dans ce mode, le dispositif envoie des requêtes de recherche appelées "sondages" (probes) sur différents canaux de fréquences pour détecter les AP (Figure 8).

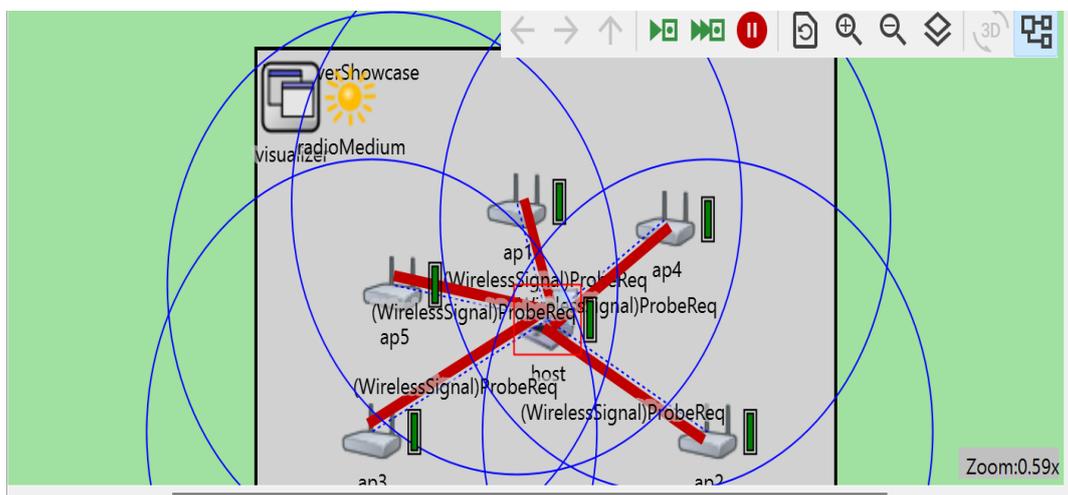


Figure 8 : Demande d'informations.

- **Signal Beacon** : Dans cette partie nous pouvons constater l'envoi d'un signal beacon a l'host (figure 9). Ce signal indique l'attribution du canal radio du point d'accès à l'host pour pouvoir communiquer.

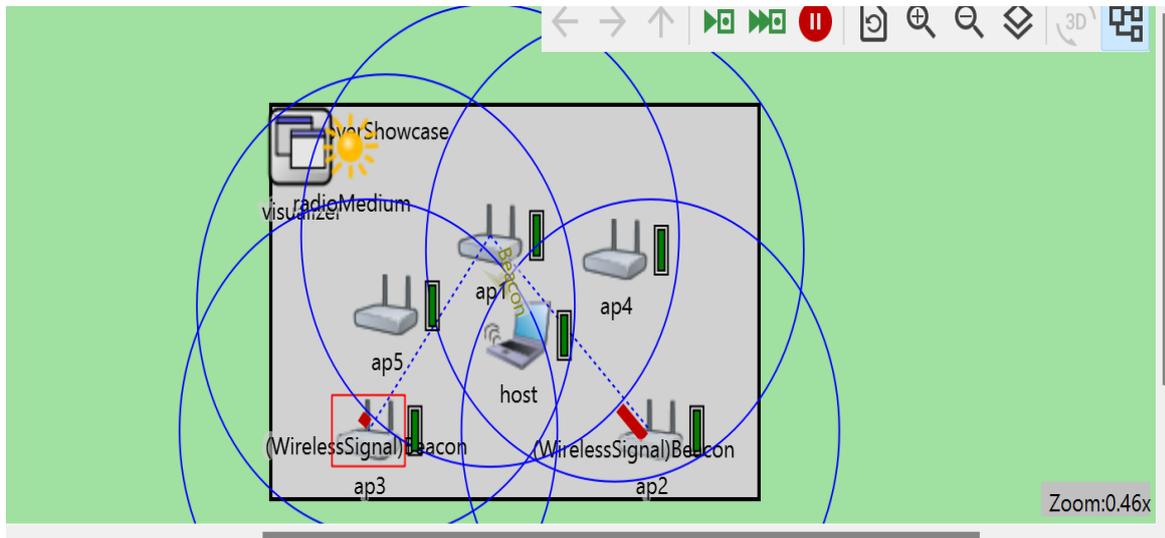


Figure 9 : Attribution du canal radio a l'host.

- **Envoie d'une demande d'information** : Dans cette section le nœud mobile envoie un message probeReq pour fournir une demande d'information au point d'accès sur lequel il a reçu le canal radio (figure 10).

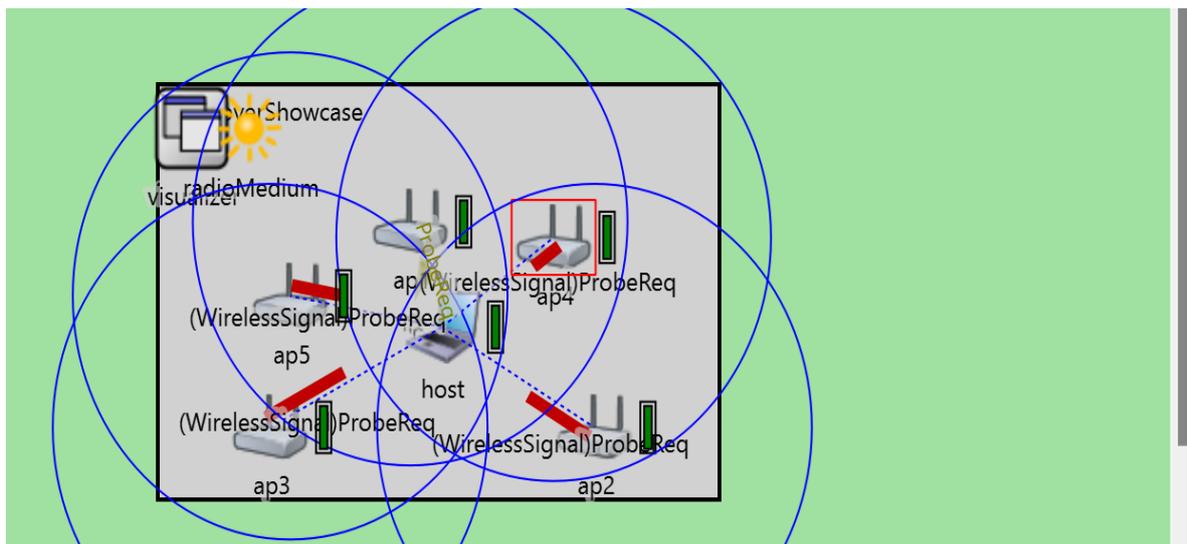


Figure 10 : Envoie d'informations.

- **Réception des informations** : après l'envoi d'une demande de sonde par le nœud mobile, le point d'accès 1 envoie un signal probresp en envoyant les informations demandées par l'host (figure 11).

Ce scénario en est de même pour tous les autres points d'accès.

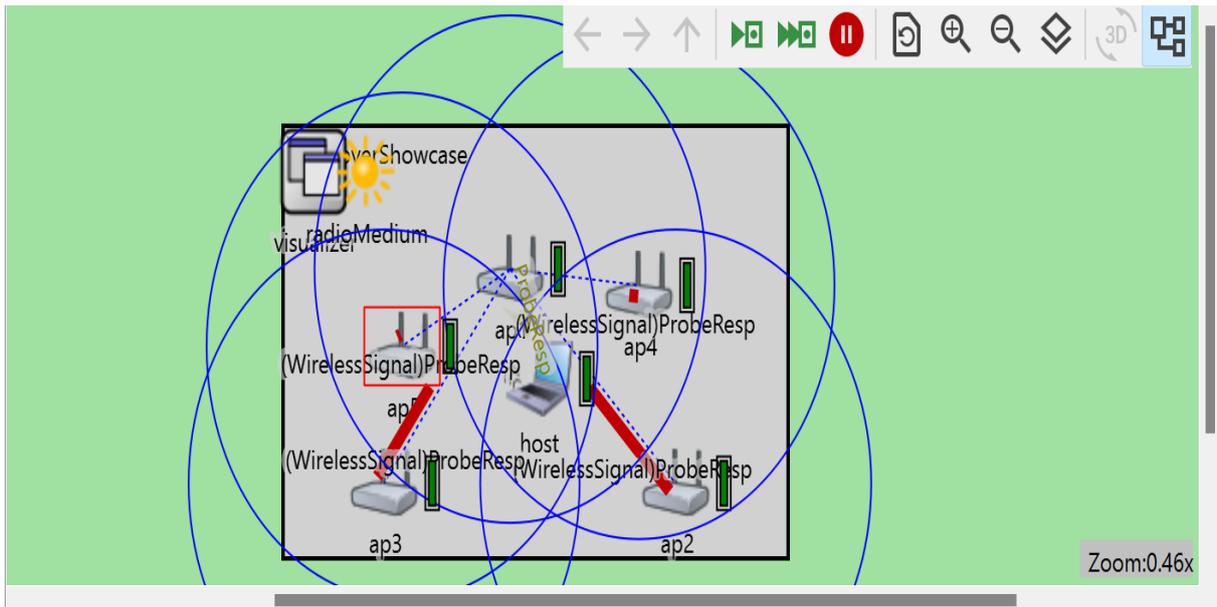


Figure 11 : Réception des informations.

- **Confirmation de réception :** Dans cette section le signal wlanack permet d'indiquer que l'host a bien reçu les informations demandées et qu'il a été enregistré (figure 12).

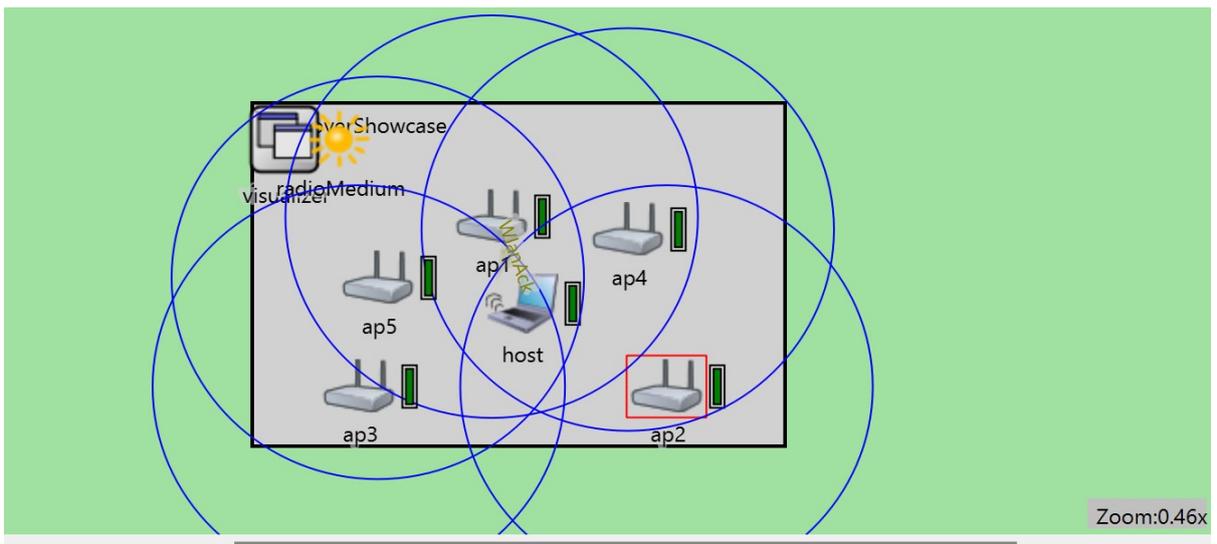


Figure 12: Confirmation.

5.3. Différents modules des interfaces radio

- **Au niveau des points d'accès :** Dans cette section nous pouvons visualiser l'interface réseau du point d'accès composé des différentes informations sur le point d'accès à

savoir son identifiant, son adresse mac ainsi que des différents modules du point d'accès (figure 13) :

- ✓ Le module Mgmt (abréviation de Management) : qui permet d'accéder aux fonctionnalités de gestion des points d'accès en cours d'exécution.
- ✓ Le module mac (Media Access Control) : qui permet de coordonner l'envoi et la réception des paquets de données entre les nœuds du réseau.
- ✓ Le module Radio : qui est responsable de la modélisation et simulation liées aux communications sans fil.
- ✓ Le module llc (Logical Link Control) : responsable de la gestion des aspects de contrôle de liaison de données, tels que l'établissement de la connexion, la gestion des erreurs, la segmentation/désassemblage des données, et la régulation du flux.

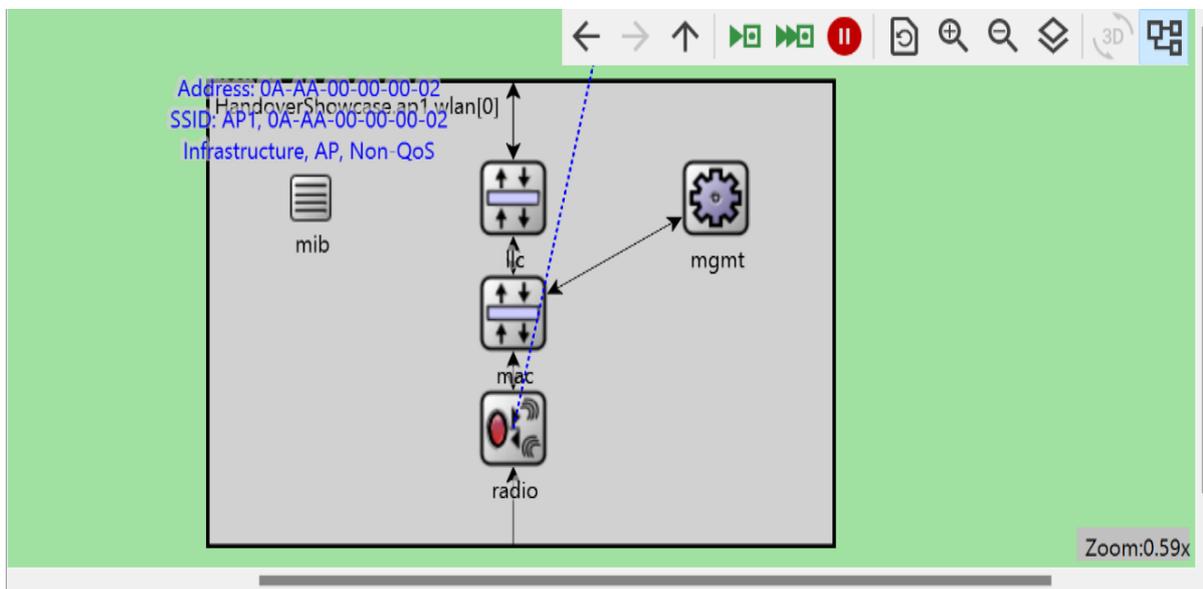


Figure 13: Différents modules d'un point d'accès.

- **Au niveau de l'host :** Dans cette section nous pouvons visualiser l'identifiant et l'adresse mac du nœud mobile ainsi que des différents modules (figure 14).

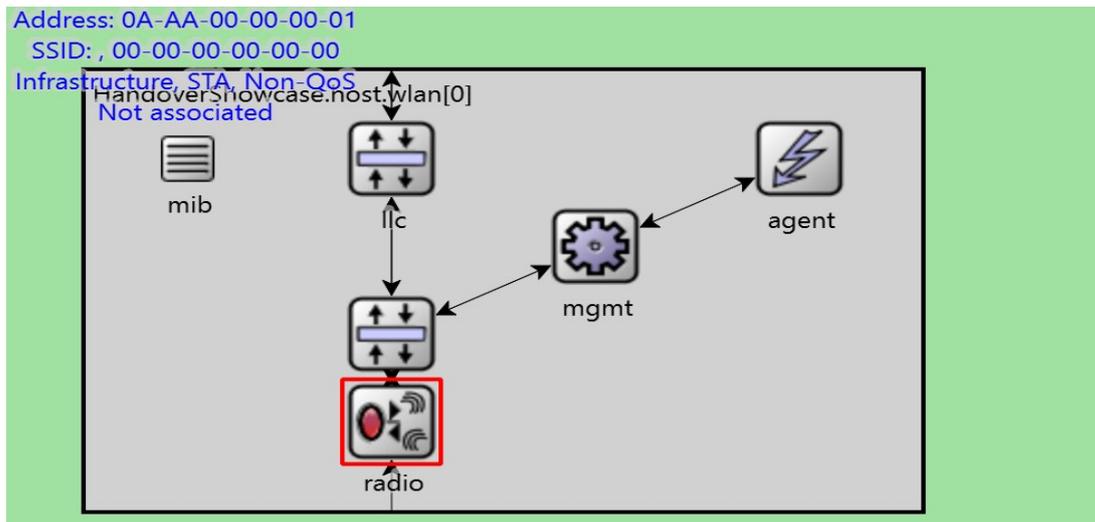


Figure 14 : Modules du nœud mobile.

5.4. Interprétation des différents résultats

- Au niveau du mgmt de l'host :

Dans cette section le mgmt est chargé de l'initialisation du balayage du réseau sans fil, de l'envoi des requêtes de sonde et de la réception des informations des points d'accès. Il joue un rôle central dans la gestion des opérations liées à la découverte et à la mise à jour des points d'accès dans le scénario donné (figure 15).

```

INFO: Command arrived from agent: (omnetpp::cMessage)inet::ieee80211
INFO: Received Scan Request from agent, clearing AP list and starting scanning...
INFO: Tuning to channel #0
** Event #197 t=0.215032456396 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65)
INFO: Timer expired: (omnetpp::cMessage)sendProbe
INFO: Sending Probe Request, BSSID=FF-FF-FF-FF-FF-FF, SSID=""
** Event #369 t=0.365032456396 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65)
INFO: Timer expired: (omnetpp::cMessage)minChannelTime
INFO: Channel was empty during minChannelTime, going to next channel
INFO: Tuning to channel #1
** Event #417 t=0.447766891409 HandoverShowcase.host.wlan[0].radio (Ieee80211ScalarRadio, i
INFO (Ieee80211MgmtSta)HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt: busy radio channel detected during
** Event #426 t=0.447812891409 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65)
INFO: Frame arrived from MAC: (inet::Packet)Beacon (19 B) (inet::SequenceChunk) length = 63 B
INFO: Received Beacon frame
INFO: Inserting AP address=0A-AA-00-00-00-02, SSID=AP1 into our AP list

```

Figure 15 : Résultat d'interprétation.

- Pour chaque point d'accès : Dans cette section mgmt reçoit une trame "ProbeResp" encapsulée dans un paquet de type "Packet" en provenance de la couche MAC, Le message « Received Probe Response frame » indique que le module « mgmt » a bien

reçu la trame de réponse à la requête de sonde. Par la suite les critères de chaque point d'accès seront recensés respectivement notamment la position (coordonnées x, y, z) contenue dans le corps de la réponse à la requête de sonde, la position du nœud mobile, le niveau d'énergie actuel du point d'accès, le nombre de nœuds connectés, la latence, et la distance séparant le point d'accès et le nœuds mobile (figure 16, 17, 18, 19 et 20).

✓ Pour AP1 :

```
** Event #959 t=0.865267790142 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65) on ProbeResp (inet::Packet, id
INFO: Frame arrived from MAC: (inet::Packet)ProbeResp (19 B) (inet::SequenceChunk) length = 63 B
INFO: Received Probe Response frame
WARN: probeResponseBody→getPos() : (500, 350, 0) m
WARN: mobility→getCurrentPosition() : (328.653, 247, 0) m
WARN: energy : 99.9984
WARN: numSta : 0
WARN: latency : 0.000235333746
WARN: distance : 200.66
** Event #960 t=0.87443460014 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65) on ProbeResp (inet::Packet, id
```

Figure 16 : Recensement des informations d'AP1.

✓ Pour AP2 :

```
** Event #1415 t=1.265527990819 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65) on ProbeResp (inet::Packet, i
INFO: Frame arrived from MAC: (inet::Packet)ProbeResp (19 B) (inet::SequenceChunk) length = 63 B
INFO: Received Probe Response frame
WARN: probeResponseBody→getPos() : (127, 350, 0) m
WARN: mobility→getCurrentPosition() : (332.655, 247, 0) m
WARN: energy : 99.9976
WARN: numSta : 0
WARN: latency : 0.000495534423
WARN: distance : 229.254
** Event #1416 t=1.274701800819 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65) on ProbeResp (inet::Packet, i
```

Figure 17: Recensement des informations d'AP2.

✓ Pour AP3

```

** Event #1869 t=1.665447445926 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65) on ProbeResp (inet::Packet, i
INFO: Frame arrived from MAC: (inet::Packet)ProbeResp (19 B) (inet::SequenceChunk) length = 63 B
INFO: Received Probe Response frame
WARN: probeResponseBody→getPos() : (453, 155, 0) m
WARN: mobility→getCurrentPosition() : (336.654, 247, 0) m
WARN: energy : 99.9966
WARN: numSta : 0
WARN: latency : 0.00041498953
WARN: distance : 148.423

```

Figure 18: Recensement des informations d'AP3.

✓ Pour AP4 :

```

** Event #2326 t=2.065247746075 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65) on ProbeResp (inet::Packet,
INFO: Frame arrived from MAC: (inet::Packet)ProbeResp (19 B) (inet::SequenceChunk) length = 63 B
INFO: Received Probe Response frame
WARN: probeResponseBody→getPos() : (150, 215, 0) m
WARN: mobility→getCurrentPosition() : (340.652, 247, 0) m
WARN: energy : 99.9958
WARN: numSta : 0
WARN: latency : 0.000215289679
WARN: distance : 193.15

```

Figure 19: Recensement des informations d'AP4.

✓ Pour AP5 :

```

** Event #2326 t=2.065247746075 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65) on ProbeResp (inet::Packet,
INFO: Frame arrived from MAC: (inet::Packet)ProbeResp (19 B) (inet::SequenceChunk) length = 63 B
INFO: Received Probe Response frame
WARN: probeResponseBody→getPos() : (150, 215, 0) m
WARN: mobility→getCurrentPosition() : (340.652, 247, 0) m
WARN: energy : 99.9958
WARN: numSta : 0
WARN: latency : 0.000215289679
WARN: distance : 193.15

```

Figure 20 : Recensement des informations d'AP5.

- **Calcul du facteur de chaque point d'accès** : cette partie décrit la fin du balayage des canaux de la couche sans fil. Le module "mgmt" a trouvé les points d'accès et envoie une confirmation à l'agent correspondant. Des facteurs spécifiques à chaque point d'accès sont également affichés à l'aide de la formule de la QoS (figure 21).

```
** Event #2644 t=2.365032456396 HandoverShowcase.host.wlan[0].mgmt (Ieee80211MgmtSta, id=65) on selfmsg maxChannelTime (or
INFO: Timer expired: (omnetpp::cMessage)maxChannelTime
INFO: Finished scanning last channel
INFO: Scanning complete, found 5 APs, sending confirmation to agent
WARN: factor : 1.14991AP : AP1
WARN: factor : 1.98096AP : AP2
WARN: factor : 2.31945AP : AP3
WARN: factor : 1.46087AP : AP4
WARN: factor : 1.96118AP : AP5
```

Figure 21 : Les facteurs des points d'accès.

Au niveau du module agent : le module "agent" joue le rôle de prise de décision pour choisir le meilleur point d'accès (AP) auquel le nœud mobile devrait se connecter.

Cette section concerne le module "agent" de l'hôte. Lors de cet événement, le module "agent" démarre et envoie une requête de balayage (ScanRequest) au module "mgmt" (gestion). L'événement Event #2645 (figure 22) indique que le module "agent" reçoit une confirmation de la part du module "mgmt" en réponse à la requête de balayage. La confirmation contient une liste d'APs (points d'accès) disponibles, parmi lesquels il choisit un AP (AP1) pour l'authentification. Les événements Event #2772 et Event #2848 indiquent que l'authentification et l'association entre le module "agent" et l'AP sélectionné ont été réussies et de ce fait le réseau choisi sera AP1.

```
INFO: Sending Scanrequest primitive to mgmt
** Event #2645 t=2.365032456396 HandoverShowcase.host.wlan[0].agent (Ieee80211AgentSta, id=64) on
INFO: Processing confirmation from mgmt: inet::ieee80211::Ieee80211Prim_ScanConfirm
INFO: Received AP list:
INFO: 0. address=0A-AA-00-00-00-02 channel=1 SSID=AP1 beaconIntvl=0.1 rxPower=1.47462e-11
INFO: 1. address=0A-AA-00-00-00-03 channel=2 SSID=AP2 beaconIntvl=0.1 rxPower=4.95504e-12
INFO: 2. address=0A-AA-00-00-00-04 channel=3 SSID=AP3 beaconIntvl=0.1 rxPower=3.60229e-12
INFO: 3. address=0A-AA-00-00-00-05 channel=4 SSID=AP4 beaconIntvl=0.1 rxPower=9.02854e-12
INFO: 4. address=0A-AA-00-00-00-06 channel=5 SSID=AP5 beaconIntvl=0.1 rxPower=4.99366e-12
WARN: Chosen AP address=0A-AA-00-00-00-02 from list, starting authentication
INFO: Sending AuthenticateRequest primitive to mgmt
** Event #2772 t=2.367084077509 HandoverShowcase.host.wlan[0].agent (Ieee80211AgentSta, id=64) on inet::ieee80211::Ieee802
INFO: Processing confirmation from mgmt: inet::ieee80211::Ieee80211Prim_AuthenticateConfirm
INFO: Authentication successful, let's try to associate
INFO: Sending AssociateRequest primitive to mgmt
** Event #2848 t=2.367936888119 HandoverShowcase.host.wlan[0].agent (Ieee80211AgentSta, id=64) on inet::ieee80211::Ieee802
INFO: Processing confirmation from mgmt: inet::ieee80211::Ieee80211Prim_AssociateConfirm
```

Figure 22: Résultat d'authentification et association.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principales étapes de réalisation et d'implémentation de notre travail. Tout en commençant par la modélisation du système, une description de l'environnement de développements, un scénario d'exécution avec les principales interfaces de l'applications.

Conclusion générale et perspectives

La forte demande de services fournis via l'Internet a entraîné le développement de nouvelles technologies d'accès. De plus, au fil du temps de nouvelles technologies d'accès ne cessent d'évoluer et les services offerts aux utilisateurs continuent de se développer. Par conséquent, les utilisateurs ont la possibilité d'utiliser une variété d'applications, y compris la vidéoconférence, les jeux en ligne, la télévision mobile, etc. Les nombreuses technologies créées représentent un environnement réseau hétérogène où l'utilisateur peut se connecter à Internet à tout moment et depuis n'importe quel endroit à l'aide d'un terminal multi-interfaces.

Cependant, étant donné l'abondance de réseaux technologiques pouvant être utilisés pour se connecter à Internet à l'aide du protocole IEEE 802.21, le choix du meilleur réseau à utiliser reste un problème que le protocole n'a pas encore résolu. En fait, l'objectif de chaque utilisateur dans cet environnement réseau hétérogène est de se doter d'une connectivité optimale. L'objectif principale de ce travail de recherche a été de proposer un algorithme de sélection de réseau qui permet à un nœud mobile de choisir le meilleur réseau possédant la meilleure performance donnée dans un environnement hétérogène.

Dans une première partie nous avons définis le concept des réseaux hétérogènes, son infrastructure, ses domaines d'applications, ses exigences ainsi qu'un bon nombre de critères évoluant dans le concept des réseaux hétérogènes. Dans la seconde partie de ce document nous avons présenté un état de l'art de la littérature existante sur les différents travaux connexes à l'encontre de notre domaine de recherche ainsi qu'une comparaison sur les différents algorithmes proposés. Cette section se clôture par la problématique que nous avons soulevée et a consisté à présenter l'approche de notre proposition. Notre algorithme proposé est basé sur la qualité de service comportant plusieurs critères à savoir la latence, la distance, l'énergie et le nombre de stations connectées à chaque sous réseau. Nous avons utilisé le simulateur de réseau OMNet++ pour mieux interpréter les résultats. Dans une troisième partie, nous avons présenté le modèle de notre système ainsi qu'un diagramme d'exécution permettant de mieux comprendre le scénario de l'algorithme ainsi qu'une illustration du modèle d'un environnement hétérogène. Cette partie se termine avec les différentes interfaces de notre simulation suivie d'une interprétation des différents résultats.

Le modèle de simulation est composé de 5 points d'accès chacun possédant l'énergie nécessaire pour effectuer des tâches ainsi que d'un certain nombre de modules pour mieux coordonner les événements et un nœud mobile à la recherche du meilleur point d'accès. Le

nœud mobile envoie une demande d'information aux points d'accès existants et recevra une confirmation par la suite des informations demandées. Toutes ses informations seront enregistrées par la suite au niveau du module mgmt de l'host qui permet de gérer tous les événements lors de la simulation, ainsi il recensera par la suite les informations spécifiques sur chaque critère et calculera le score de chaque point d'accès à l'aide d'une formule définie plus haut, les différents scores seront par la suite recensés au niveau du mgmt, le module agent de l'host se servira par la suite de sélectionner le point d'accès ayant la plus faible valeur du score et commencera par faire l'association et s'en suivra d'une authentification ainsi le nœud mobile pourra par la suite se connecter au réseau choisi.

Perspectives

Les perspectives de recherches de ce travail sont nombreuses. Nous les présentons en suivant :

- Utiliser plus de critères d'évaluation de la qualité de service tels que principalement le degré de sécurité des réseaux disponibles, le taux d'erreur de transmission ; le taux de perte de paquets.
- Modéliser les Pondération des mesures de performance.
- Prendre en considération des valeurs exactes des capacités des réseaux réels.
- Développement d'algorithmes de sélection plus sophistiqués : Explorez la conception et l'implémentation de nouveaux algorithmes hybride de sélection de réseau basés sur la qualité de service et d'autres méthodes ou concepts. Par exemple, nous pouvons intégrer des algorithmes basés sur des techniques d'apprentissage automatique, d'intelligence artificielle ou d'optimisation avancée afin d'avoir une idée claire sur le temps d'attente des réponses, la durée de vie des demandes d'informations, etc. Ces algorithmes pourraient prendre en compte des métriques de qualité de service plus complexes et fournir des résultats plus précis et adaptés aux besoins des utilisateurs.
- Adaptation des algorithmes aux réseaux 5G et futurs : nous pouvons également étudier comment les algorithmes de sélection de réseau basés sur la qualité de service peuvent être adaptés aux réseaux 5G et aux futurs réseaux émergents. Analysez les défis spécifiques posés par ces réseaux, tels que la densité élevée des dispositifs, les exigences strictes en matière de latence et de débit, et la nécessité de gérer efficacement les ressources. Proposez des modifications ou des extensions de notre algorithme pour

prendre en compte ces caractéristiques et garantir une sélection de réseau optimale dans ces environnements.

- Étude des architectures de réseau avancées : nous pouvons également explorer l'impact des architectures de réseau avancées, telles que les réseaux définis par logiciel (SDN) ou les réseaux de tranches (network slicing), sur les algorithmes de sélection de réseau basés sur la qualité de service. Analysez comment ces architectures peuvent améliorer la flexibilité et l'efficacité de la sélection de réseau, et proposez des mécanismes d'intégration et d'optimisation spécifiques.

Références bibliographiques

- [1]. Sanchez, J., & Thioune, M. (2001). UMTS: services, architecture et WCDMA. Hermes Science.
- [2]. Jabban, A. (2013). Optimisation et analyse des réseaux intelligents et des réseaux hétérogènes (Doctoral dissertation, INSA de Rennes).
- [3]. Ameer, H. (2016). Vers des réseaux hétérogènes sans fil efficaces en consommation énergétique (Doctoral dissertation, Université de Technologie de Troyes).
- [4]. <https://www.rapport-gratuit.com/les-reseaux-heterogenes-hetnet/>
- [5]. <http://hautrive.free.fr/reseaux/architectures/reseaux-heterogenes.html>
- [6]. Launay, F. (2023). Les réseaux de mobiles 4G et 5G, (cours, France, Université de Poitiers) <https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/tag/reseaux-heterogenes/>
- [7]. Nair, M., & Veeraraghavan, M. K. SERVICE MANAGEMENT IN NEXT GENERATION HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS-A SOLUTION APPROACH.
- [8]. Bendaoud, F. (2020). Méthodes d'optimisation multicritères pour la sélection de réseaux dans un environnement hétérogène. Gestion et contrôle intelligents des réseaux: Sécurité intelligente, optimisation multicritères, Cloud Computing, Internet of Vehicles, radio intelligente, 95.
- [9]. <https://openai.com>
- [10]. Yin, C. (2008). Vers l'autogestion pour une continuité de service intégrée et " sans couture" (Doctoral dissertation, Paris, ENST).
- [11]. Lahby, M. (2013). Optimisation et évaluation des performances des communications mobiles dans un environnement réseaux multi-accès (Doctoral dissertation, Université Hassan II Mohammedia-Casablanca).
- [12]. Lampropoulos, G., Passas, N., Merakos, L., & Kaloxylos, A. (2005). Handover management architectures in integrated WLAN/cellular networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 7(4), 30-44.
- [13]. Bertin, P. L. H. (2010). Gestion de la mobilité dans une architecture d'accès multi-technologies (Doctoral dissertation, Télécom Bretagne).
- [14]. Rym, G., & Amina, S. analyse des outils de simulation et d'émulation des réseaux hétérogènes (Doctoral dissertation, university of kasdi merbah ouargla).
- [15]. Bendaoud, F., Abdennebi, M., & Didi, F. (2018). Network selection in wireless heterogeneous networks: A survey. Journal of Telecommunications and Information Technology.
- [16]. W. Hashim, A. F. I., N. A. Abd Ghafar, and S. Dzulki-fly. (2013). Cognitive Selection Mechanism Performance in IEEE 802.11 WLAN. International Journal of Computer and Communication Engineering vol. 2, no. 4, pp. 477-481.

- [17]. Yan, X., Ahmet Şekercioğlu, Y., & Narayanan, S. (2010). A survey of vertical handover decision algorithms in Fourth Generation heterogeneous wireless networks. *Computer Networks*, 54(11), 1848-1863.
- [18]. Kassar, M., Kervella, B., & Pujolle, G. (2008). An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, 31(10), 2607-2620.
- [19]. Miyim, A. M., Ismail, M., Nordin, R., & Mahardhika, G. (2013). Generic vertical handover prédiction algorithm for 4G wireless networks. Dans 2013 IEEE International Conférence on Space Science and Communication (IconSpace) (pp. 307-312). doi: 10.1109/IconSpace.2013.6599486
- [20]. Khloussy, E., Gelabert, X., & Jiang, Y. (2015). Investigation on MDP-based radio access technology selection in heterogeneous wireless networks. *Computer Networks*, 91, 57- 67. doi: 10.1016/j.comnet.2015.08.005
- [21]. Shuo, Z., & Qi, Z. (2016). The birth and death process enhanced optimization algorithm for multi-access selection in heterogeneous wireless networks. *Journal of Information Science and Engineering*, 32(2), 455-475.
- [22]. Jiandong, X., Ying-Chang, L., Yiyang, P., Jun, F., & Li, W. (2017). Intelligent multi-radio access based on markov decision process. Dans 2017 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2017), 4-8 Dec. 2017 (pp. 6 pp.). IEEE. doi: 10.1109/GLOCOM.2017.8254596
- [23]. Mah, F. (2019). Sélection de réseaux d'accès sans fil hétérogènes pour les dispositifs multihôtes à l'aide des processus de décision de Markov (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).
- [24]. Habbal, S. I. Goudar, and S. Hassan, "Context-aware radio access technology selection in 5G ultra dense networks," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 6636–6648, 2017.
- [25]. 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.
- [26]. Verma, R., & Singh, N. P. (2013). GRA based network selection in heterogeneous wireless networks. *Wireless personal communications*, 72, 1437-1452.
- [27]. Liang, G., Guo, X., Sun, G., & Fang, J. (2020). A user-oriented intelligent access selection algorithm in heterogeneous wireless networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2020.
- [28]. Khan, M., Ahmad, A., Khalid, S., Ahmed, S. H., Jabbar, S., & Ahmad, J. (2017). Fuzzy based multi-criteria vertical handover decision modeling in heterogeneous wireless networks. *Multimedia Tools and Applications*, 76, 24649-24674.
- [29]. Wang, Y. M., & Elhag, T. M. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert systems with applications*, 31(2), 309-319.
- [30]. Rahil, A., (2015) « Gestion du Handover dans les réseaux hétérogènes mobiles et sans fil ». Thèse de doctorat, Université de Bourgogne.
- [31]. <https://omnetpp-org.translate.google/download/models-and-tools>

[32]. Varga, A., & Hornig, R. (2010, May). An overview of the OMNeT++ simulation environment. In 1st International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems.