



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Télécommunications
Réseaux et télécommunication

Présenté et soutenu par :

Saifi Meriem

Helal Saida

Le: 27 Juin 2022

Simulation des réseaux de capteur sans fil par OPNET

Jury :

Dr. Baair Zinedine	Pr	Université de Biskra	Président
Dr. Hamaizia Zahra	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Dr. Megherbi Mohamed.L	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2021 - 2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique ET Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Télécommunication

Option : Réseaux et Télécommunication
Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

Simulation des réseaux de capteur sans fil par OPNET

Présenté par :

Saifi Meriem

Helal Saida

Avis favorable de l'encadreur :

Hamaizia zahra

Avis favorable du Président du Jury

Baarir Zinedine

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Télécommunication

Option : Réseaux et Télécommunication
Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

Simulation des réseaux de capteur sans fil

Par OPNET

Proposé par : Saifi Meriem & Helal Saida

Dirigé par : Hamaizia Zahra

RESUMES (Français et Araba)

Résumé

Dans ce travail, nous avons simulé un réseau de capteurs sans fil (RCSF), qui est un ensemble de petits nœuds, combinant les capteurs, l'unité de traitement et le Dispositif de communication sans fil. C'est l'une des technologies les plus modernes qui a ouvert la voie à l'innovation d'une nouvelle génération d'applications dans divers domaines. Ces applications comprennent (les applications militaires, les applications civiles, les applications des opérations d'urgence ...).

L'objectif de ce travail était d'évaluer les performances des protocoles de

roulage proactifs (OLSR), réactifs (AODV, DSR) et hybrides (GRP) du réseau MANET et analyser leur fonctionnement à l'aide d'un simulateur des réseaux OPNET 14.5. Nous avons étudié et analysé l'impact de la densité des nœuds sur les performances des protocoles de routage. Nous avons aussi utilisé la technologie des RCSF et IOT dans une application domotique en utilisant le logiciel Cisco Packet Tracer.

Mots clés : capteur sans fil, réseaux de capteur sans fil, OPNET, protocoles de routage.

ملخص:

في هذا العمل، قمنا بمحاكاة شبكة استشعار لاسلكية (GWN)، والتي هي مجموعة من العقد الصغيرة، تجمع بين أجهزة الاستشعار ووحدة المعالجة وجهاز اتصال لاسلكي إنها واحدة من أحدث التقنيات التي مهدت الطريق أمام ابتكار جيل جديد من التطبيقات في مجالات مختلفة. وتشمل هذه التطبيقات (التطبيقات العسكرية، والتطبيقات المدنية، وتطبيقات الطوارئ، وما الي ذلك).

وكان الهدف من هذا العمل هو تقييم أداة التوجه الاستباق (OLSR)، والتوجه التفاعلي (DSR،AODV) والتوجيه الهجين (GRP) للشبكة MANET وتحليل عملياتهم باستخدام محاكي الشبكة OPNET14,5. درسنا وحللنا تأثير كثافة العقدة على أداة بروتوكولات التوجيه. لقد استخدمنا أيضا RCSF و IOT في تطبيق تشغيل الآلي للمنزل باستخدام برنامج Cisco packet.

الكلمات الرئيسية: المستشعر اللاسلكي، شبكات الاستشعار اللاسلكية، OPNET، بروتوكولات

التوجيه.



REMERCEMENT

Nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force et le courage de faire cet humble travail. Nous exprimons nos remerciements, notre gratitude et notre appréciation à notre superviseure, Dr. Hamaizia Al-Zahra, pour ses conseils, son assistance et son bon traitement avec nous pour fournir le meilleur et le suivi pendant la période de préparation de notre travail, qui nous a honorés en acceptant au projet de fin d'études. Mes remerciements aux membres du jury, Dr. BAARIR Zinedine et Dr. Megherbi Mohamed. L pour leur encadrement à notre égard. Je tiens à remercier sincèrement tous les enseignants qui nous ont enseigné tout au long du parcours académique pour leurs conseils et leurs efforts au cours des dernières années. Merci beaucoup pour la qualité de l'enseignement.

SAIFI MERJEM & HELAL SAIDA



Dédicace

Je dédie ce travail :

A mon père, mon premier encadrant, depuis ma naissance A ma très chère mère : qu'elle trouve ici l'hommage de ma gratitude qui, si grand qu'elle puisse être, ne sera à la hauteur de ses sacrifices et ses prières pour moi.

A mes frères: ABDOU, WALIDE

A mes chères sœurs : Soulafe, Rania, Rayen, Wiame, Afnane

Au mari de ma sœur : Abderrazak

A mes chères amies : HAYATE, MERJEM(MS), Radja(BEN), SAIDA, TAMTAME, AMINA, NESRINE,

*Et A tous les amies du département de génie électrique
Sur tout Filière Télécommunications Et A la promotion 2022*

SAIFI MERJEM





Dédicace

Je dédie ce travail :

*A mon père, mon premier encadrant, depuis ma naissance
A ma très chère mère : qu'elle trouve ici l'hommage de ma
gratitude qui, si grand qu'elle puisse être, ne sera à la hauteur de
ses sacrifices et ses prière pour moi.*

A mes frères: OTMANE CHOAIB KHALED.

*A mes chères sœurs : FATIMA SABAH KARIMA NADIA
SARA*

*A mes chères amies : MERIEM ARIDJ MARAM SERINE
MAZOURI*

*Et A tous les amies du département de génie électrique Sur tout
Filière Télécommunications Et A la promotion 2022*

HELAL SAIDA

Liste des Abréviations

A

- AODV: Ad Hoc On-Demand Distance Vector.

D

- DSR: Routage à Source Dynamique.

E

- EAR: Eavesdrop and Register

I

- IDE: Integrated Development Environment.
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- IETF: Internet Engineering Task Force.
- IP: Internet Protocol.
- ISO: Organisation internationale de normalisation.

G

- GRP : Protocole de routage basé sur la collecte

L

- LAN: Local Area Network.
- LEACH: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

M

- MAC: Media Access Control.
- MANET: Mobile Ad hoc Network.
- MPR: MultiPoint Relaying.

O

- OLSR: Optimized Link State Routing.
- OPNET: Optimum Network Performance.

Q

- **QoS: Quality of Service**

R

- **RCSF : Réseau capture sans fil**
- **RREP: Route REPLY.**
- **RREQ: Route REQuest.**

RSF : Réseau sans fil

S

- **SAR:Sequential Assignment Routing**
- **SMP: Sens or Management Protocol.**
- **SMACS: Self-organization Medium Access Control for Sens or networks**

T

- **TADAP: Task Assignment and Data Advertisement Protocol**

U

- **UDP : User Data gram Protocol Like)**

W

- **Wi-Fi: Wireless Fidelity.**
- **WLAN: Wireless Local Area Network.**
- **WMAN:Wireless Metropolitan Area Networks**
- **WPAN:Wireless Personal Area Networks**
- **WWAN:Wireless Wide Area Network**

Liste des tableaux

Tableau I .1 : Comparaison entre les deux types des réseaux sans fil7

Tableau I .2 : Modes de transmission.....12

Tableau II.1 : Caractéristiques techniques des capteurs.....17

Tableau II.2 : Comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil.....34

Tableau III.1 : Comparaison entre les protocoles proactifs et réactifs48

Tableau III.2 : Spécificités des protocoles OLSR / AODV48

Tableau IV.1: Les modelés OPNET utilisés au Réseaux de capteur sans fil.....51

Tableau IV.2: Les modelés Packet Tracer utilisés au Réseaux des capteurs sans fil.....53

Tableau IV.3 : Les liens qu'on a utilisés dans Packet Tracer.....53

Tableau IV.4: les paramètres de simulation.....58

Tableau IV .5 : Comparisons entre les protocoles des wireless LAN79

Tableau IV .6 : Comparisons entre les protocoles des Voice.....80

Tableau IV .7: Comparisons entre les protocoles des wireless LAN.....80

Tableau IV .8: Comparisons entre les protocoles des Performances du Voice.....81

Tableau IV .9 : Comparisons entre les deux scénrios (wireless LAN)81

Tableau IV .10 : Comparisons entre les deux scénrios (Voice).....82

Liste des figures

Figure I.1 : Réseau sans fil3

Figure I.2 : Les réseaux mobiles sans fils.....3

Figure I.3 : Réseau avec Infrastructure.....4

Figure I.4 : Réseau sans Infrastructure4

Figure I.5: Mode Ad-hoc5

Figure I.6 : Changement de la topologie d'un réseau Ad Hoc.....7

Figure I.7 : Les réseaux véhiculaires en mode ad hoc8

Figure I.8 : Classement des réseaux sans fil selon la portée.....9

Figure I.9 : Réseau personnel sans fil (WPAN)9

Figure I.10 : Réseau locaux sans fil (WLAN)10

Figure I.11 : Les catégories de réseaux sans fil.....11

Figure II.1 : Exemple d'un Réseau Capteur Sans Fil.....14

Figure II.2 : Composants de base d'un nœud capteur.....15

Figure II.3: Consommation d'énergie d'un capteur MICAZ.....16

Figure II.4: Quelques types de nœud capteur.....17

Figure II.5 : Architecture d'un capteur sans fil.....18

Figure II.6 : Composition d'un nœud capture.....20

Figure II.7 : Exemple d'un Réseau de Capteurs Sans Fil.....21

Figure II.8 : Architecture d'un Réseau de Capteurs Sans Fil.....22

Figure II.9 : La pile protocolaire dans les réseaux de capteurs.23

Figure II.10 : Quelques domaines d'application pour les RCSFs.....29

Figure II.11 : Les RCSF dans le domaine militaire.....29

Figure II.12: Utilisation des capteurs météo dans l'agriculture avec RCSF30

Figure II.13: Les RCSF dans le domaine médical.....	30
Figure II.14 : La surveillance des bâtiments avec les RCSFs	31
Figure II.15 : Utilisation des capteurs d'anti-intrusion avec RCSF.....	32
Figure II.16: Capteurs utilisés dans le domaine sportif.....	32
Figure III.1 : Le modèle OSI	36
Figure III.2: Classification des protocoles de routage dans les RCSFs.....	39
Figure III.3 : Les topologies d'un réseau.....	39
Figure III.4 : Topologie plate à droite et clustérisé à gauche d'un RCSF.....	40
Figure III.5 : Topologie plate.....	40
Figure III.6 : Topologie hiérarchique	41
Figure III.7 : Topologie basée Localisation	41
Figure III.8 : Les protocoles de routage.....	43
Figure III.9 : Le protocole AODV.....	45
Figure III.10: Etablissement d'une route sous AODV	46
Figure III.11: Relais multipoints	47
Figure IV.1 : éditeur de projet.....	51
Figure IV.2: Node Model Edito.....	52
FigureIV.3: Topologie 20 nœuds des capteurs.....	57
FigureIV.4 : (a) Application Définition, (b) Profile Définition	57
Figure VI.5: Animation du réseau Ad hoc simulé (20 ondes)	58
FigureIV.6: Comparaison du débit dans quatre protocoles de routage.....	59
FigureIV.7: Comparaison de la charge réseau dans quatre protocoles de routage pour 20 mobiles.....	60
FigureIV.8: Comparaison des délais d'accès aux supports dans quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles.....	60

FigureIV.9: Comparaison des délais dans quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles.....	61
Figure IV.10: Comparaison du nombre de paquets routés (bits/s) dans les quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles.....	62
Figure IV.11 : Comparaison de délai de bout en bout du paquet dans les quatre protocoles de routage 20 nœuds mobiles.....	62
Figure IV.12 : Comparaison du trafic reçu dans les quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles.....	63
FigureIV.13 : Comparaison de la Trafic émis dans quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles.....	64
Figure IV.14 : Topologie 40 nœuds des capteurs (40 nœuds mobiles)	65
Figure IV.15: Animation du réseau Ad hoc simulé (40 nœuds mobiles)	65
Figure IV.16: Comparaison du débit dans quatre protocoles de routage Pour 40 nœuds mobiles.....	66
Figure IV.17: Comparaison de la charge réseau dans quatre protocoles de routage Pour 40 nœuds mobiles.....	67
Figure IV.18: Comparaison des délais d'accès aux supports dans quatre protocoles de routage Pour 40 nœuds mobiles.....	68
Figure IV.19: Comparaison des délais dans quatre protocoles de routage Pour 40 nœuds mobiles.....	68
Figure IV.20: Comparaison de la charge (bits/s) dans quatre protocoles de routage Pour 40 nœuds mobiles.....	69
Figure IV.21: Comparaison de la Paquet de bout en bout – Délai dans troisième protocoles de routage Pour 40 nœuds mobiles.....	70
Figure IV.22 : Comparaison de la Traffic reçu dans troisième protocoles de routage Pour 40 nœuds mobiles.....	71
Figure IV.23: Comparaison de la Trafic émis dans quatre protocoles de routage Pour 40 nœuds mobiles.....	72

Figure IV.24: Comparaison du débit dans les deux scénarios.....	72
Figure IV.25: Comparaison de la charge réseau dans les deux scénarios.....	73
Figure IV.26: Comparaison de Délai d'accès des médias dans les deux scénarios.....	74
Figure IV.27: Comparaison de Délai dans les deux scénarios.....	74
Figure IV.28: Comparaison de Chargement dans les deux scénarios.....	75
Figure IV.29: Comparaison de Paquet de bout en bout – Délai dans les deux scénarios.....	76
Figure IV.30 : Comparaison de Traffic recordmans les deux scénarios.....	76
Figure IV.31: Comparaison de Traffic émis dans les deux scénarios.....	77
Figure IV.32: Nombre de houblons par itinéraire dans les protocoles de routage	78
Figure IV.33: Temps de découverte dans protocole réactive.....	78
Figure IV.34 : la maison intelligente	84
Figure IV.35 : Connectivité des composants Smart Home.....	85
Figure IV.36 : Page de configuration de Home Gateway.....	86
Figure IV.37 : Schéma montrant comment communiquer avec l'intranet domestique.....	86
Figure IV.38 : (a) Configuration du Home PC montrant SSID et mot de passe, (b) Liste des appareils domestiques connectés et accessibles via le PC Home Gateway.....	87
Figure IV.39 : La connectivité et la simulation du système incendie.....	87
Figure IV.40 : la configuration de MCU3.....	88
Figure IV. 41 : (a) Capteur de mouvement et Capteur de venta l'état OFF et (b) l'état ON.....	89
Figure IV. 42 : la configuration de SBC0.....	89

Figure IV.43 : Connexion du détecteur de mouvement avec une porte de maison à l'état OFF (a) et à l'état ON (b)	90
Figure IV.44: ISP-Internet dans la maison intelligente.....	90
Figure IV.45 : Connectivité réseau externe.....	91
Figure IV.46 : Configuration de Serveur d'enregistrement.....	91
Figure IV.47 : Configuration de serveur DNS.....	92
Figure IV.48 : configuration de serveur DNS.....	92
Figure IV.49 : serveur : www.entertain.pka	93
Figure IV.50 : Serveur de central.....	93
Figure IV.51 : (a) configuration de routeur et (b) configuration de commutateurs(Entertainment).....	94
Figure IV.52: (a) configuration de routeur (IoT Register) et (b) configuration de commutateurs(Switch0)	95
Figure IV.53 : Schéma montrant comment communiquer avec le réseau à l'extérieur de la maison.....	95
Figure IV.54 : (a) D'un nom d'utilisateur et un mot de passe de Smartphone Et (b) Liste des appareils domestiques connectés accessibles via le Smartphone.....	96
Figure IV. 55 : (a)La connexion du système Garage avec la simulation de voiture à l'état OFF et l'état(b) ON.....	96

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Glossaire	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
Chapitre I	
I.1 Introduction	3
I.2 Réseau sans fil	3
I.2.1 Types des réseaux sans fil.....	3
I.2.2 Réseau ad –hoc	4
I.2.3 Comparaison entre les deux types des réseaux sans fil	7
I.2.4 Réseaux ad hoc dans la pratiques	8
I.2.5 Les différentes catégories de réseaux sans Fil (RSF).....	9
I.2.6 Les avantages et les inconvénients des réseaux sans fil.....	11
I.2.7 Modes de transmission	12
I. 3 Conclusion	13
Chapitre II	
II .1 Introduction.....	14
II.2 Définition d'un RCSF.....	14
II.3 Nœud capteur	15
II.3.1 Définition d'un nœud capteur.....	15
II.3 .2 Composants matériels d'un nœud capteur sans fil.....	15
II.3.3Les types d'un capteur	16
II.3.4Caractéristiques techniques des capteurs	17
II.3.5Architecture d'un nœud capteur.....	18

II.3.6	Composition d'un nœud capture.....	20
II.4	Réseau capteur sans fil	20
II.4. 1	Architecteur d'un RCS.....	21
II.4 .2	Classification des réseaux de capteurs sans fil	24
II.4 .3	Types de RCSF	26
II.4 .4	Caractéristiques des RCSF.....	27
II.4 .5	Applications des RCSF.....	28
II.4 .6	Facteurs de conceptions d'un RCSF.....	32
II.4 .7	Comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil classiques	33
II.5	Conclusion	35
Chapitre III		
III .1	Introduction	36
III .2	Modèle OSI	36
III .2 .1	Les différentes couches.....	37
III .3	Routage dans les réseaux de capteurs	38
III.3.1	Classification des réseaux de capteurs	38
III .4	Les types des protocoles de routage des RCSF	42
III .5	Les protocoles de routage dans MANET	44
III .5.1	DSR - Routage source dynamique (DSR)	44
III .5.2	Routage de vecteur de distance à la demande ad hoc (AODV).....	44
III .5.3	Routage optimisé de l'état des liens (OLSR).....	45
III .5.4	Protocole de routage basé sur la collecte (GRP.....	46
III.6	Comparaison entre les protocoles proactifs et réactifs.....	46
III.6.1	Spécificités des protocoles OLSR / AOD.....	48
III.6.2	Synthèse de comparaison OLSR / AOD.....	49
III.	Conclusion	49
Chapitre IV		
IV.1	Introduction	50
IV.2	Outils de simulation	50
IV.2.1	Présentation et utilisation d'OPNET	50

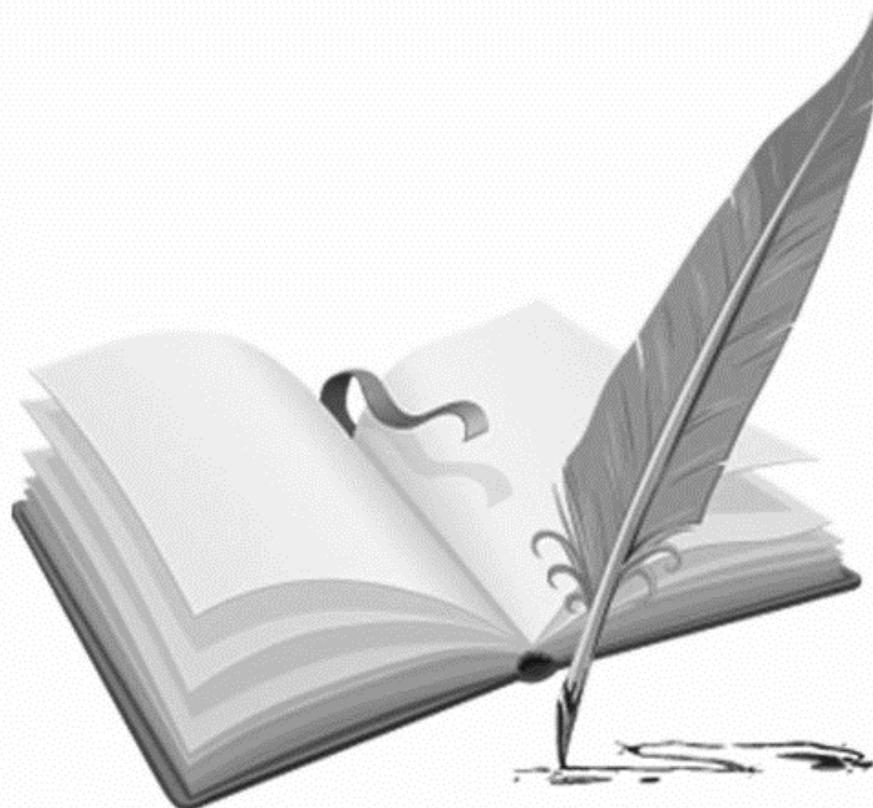
Tableau des matières

IV. 2.2 Présentation de l’outil de simulation PACKET TRACE.....	52
IV.3 Simulation des performances des protocoles de routage des réseaux de capteurs sans fil	53
IV.3.1 Les métriques d’évaluation des performances sous OPNET.....	54
IV.3.2 Conception et création du scénario n°1.....	56
IV.3.3 Conception et création du scénario n°2.....	64
IV.3.4 Comparaison entre les deux scénarios	72
IV.4 Analyse et interprétation	78
IV.4 .1 Comparaisons entre les protocoles des routage Manet dans 20 nœuds.....	79
IV.4 .2 Comparaison entre les protocoles des routage manet pour 40 noeuds.....	80
IV.4 .3 Comparaison entres 20 noeuds et 40 nœuds (Les protocoles routage)	81
IV.4.4 Synthèse	82
IV.5 Application RCSF	84
IV.5.1 Conception et création d’une maison intelligente.....	84
IV.5.2 Composants du réseau à l’intérieur de la maison	85
IV.5.3 Composants du réseau à l’extérieur de la maison	90
IV.6. Conclusion	97

Conclusion générale

Références bibliographiques

Introduction générale



Introduction générale

Les techniques sans fil offrent de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications et des réseaux informatiques. Grâce aux progrès faits, il est apparu un nouveau type de réseaux ad hoc, qui sont les réseaux de Capteurs sans fil (RCSF). Ce sont des réseaux sans infrastructure fixe, ils peuvent être déployés rapidement dans des zones sensibles et/ou difficiles à atteindre. D'habitude, leur mission est d'en regarder une zone, de prendre régulièrement des mesures et de faire remonter des alarmes vers certains nœuds du réseau, appelés nœuds collecteurs, capables de relayer l'information à grande échelle vers un centre de contrôle distant [1].

Les caractéristiques intrinsèques de cette nouvelle génération de micros-capteurs sont la miniaturisation, la capacité de traitement, la connectivité sans fil, la polyvalence des capteurs (optique, thermique, multimédia, etc.), le faible coût, etc. Elle a ouvert des horizons d'application nouveaux et très divers pour les capteurs, réseaux dans beaucoup de champs (militaire, domotique, environnemental, etc.). [1] Cependant dans les mêmes proportions. Elles soulèvent de nombreuses problématiques de recherche en matière d'applications potentielles qu'elles ne font que suggérer par les différentes limitations qu'elles apportent généralement que tant les techniques que les méthodes ont été développées dans le cadre des réseaux filaires par rapport aux réseaux sans fil qui ne sont pas directement 'portable' dans le domaine des réseaux de capteurs.

En fin de compte, le domaine de RCSF est ouvert à la communauté scientifique à presque tous les niveaux : auto configuration, localisation, couverture, propagation, communication, topologie dynamique, collecte et diffusion de données, requêtes et traitement, etc.

La majorité des travaux sur les réseaux de capteurs vise à réduire la consommation d'énergie, ou du moins à la rationaliser car elle collecte des informations dans des environnements hostiles ou difficiles d'accès sans aucune intervention humaine. Difficile donc d'imaginer trouver une source d'alimentation autre que celle des batteries. Pour cette raison, ils sont considérés comme des appareils autonomes. Sa durée de vie est donc égale à la durée de vie de la batterie.

Les principaux problèmes dans les réseaux de capteurs sans fil ou les WSNs "Wireless Sensor Networks" sont le protocole de routage, l'énergie consommée par le nœud, la sécurité, l'agrégation de données, la mobilité imprévisible des nœuds, etc. Ces capteurs sont parfois déployés dans des zones hostiles

Introduction générale

Le routage ou l'acheminement de données est une fonction important dans les réseaux MANET où chaque entité mobile joue le rôle d'un routeur et participe activement dans la transmission des paquets de données. et pour faire la communication entre les nœuds directement si un nœud dans sa portée radio. Sinon elle utiliser la collaboration entre les voisins.

Plusieurs protocoles de routage ont été développés, chaque protocole essaye de maximiser les performances du réseau MANET, trois grandes familles de protocoles ont été définies : proactifs, réactifs et hybrides

L'objectif de ce travail est d'étudier, simuler et évaluer les performances des protocoles de routage proactifs (OLSR), réactifs (AODV, DSR) et hybrides (GRP) du réseau MANET et analyser leur fonctionnement à l'aide d'un simulateur des réseaux OPNET 14.5.

On étudiera aussi l'impact de la densité des nœuds sur les performances des protocoles de routage avec le modèle de mobilité random way point. On voudra aussi utiliser la technologie des réseaux de capteurs sans fil (WSN) et l'internet des objet (IOT) dans une application domotique : conception et configuration d'une maison intelligente en utilisant Cisco Packet Tracer 7.3.1

Ce mémoire est organisé en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons des généralités sur les réseaux sans fil.

Le deuxième chapitre est une présentation des réseaux de capteur sans fil.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude des protocoles de routage RCF.

Le quatrième chapitre est divisé en deux parties :

- La première partie sera consacrée à l'implémentation d'un réseau MANET et les simulations des différents protocoles de routage proactif (OLSR), réactifs (AODV, DSR) et hybrides (GRP) étudiés, afin de les évaluer et interpréter selon certaines métriques d'évaluation des performances.
- Dans la seconde, nous allons simuler et mettre en œuvre une maison intelligente (Smart Home) en utilisant la technologie des RCF (WSN) et l'internet des objets (IoT).

Chapitre I
Généralités sur les réseaux
sans fil



I.1 Introduction :

Un réseau sans fil est un ensemble d'appareils connectés entre eux et qui peuvent s'envoyer et recevoir des données sans qu'aucune connexion « filaire » physique reliant ces différents composants entre eux ne soit nécessaire. Dans ce chapitre, nous aborderons des informations générales sur des réseaux sans fils.

I.2 Réseau sans fil :

Quel réseau sans fil est. Le réseau sans fil est un ordinateur ou un réseau numérisé qui connecte différentes stations ou systèmes entre eux par ondes radio. » Alors c'est un réseau dans lequel au moins deux hôtes (imprimante; PC, routeur...etc.) permettent de communiquer sans connexion câblée. Les réseaux sans fil sont à partir d'un lien utilisant des ondes radio au lieu des câbles habituels. Cette La technologie offre des débits pouvant atteindre 54 Mbps sur une distance de quelques centaines de mètres.



Figure I.1 : Réseau sans fi

I.2.1 Types des réseaux sans fil :

Les réseaux mobiles ou sans fil, peuvent être classés en deux catégories : les réseaux avec infrastructure (cellulaire) et les réseaux sans infrastructure (Ad Hoc).

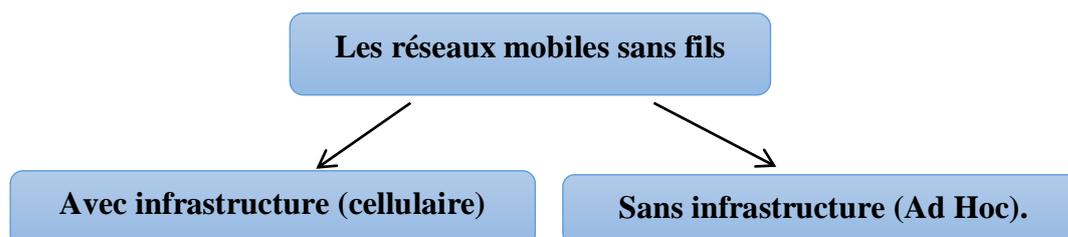


Figure I.2 : les réseaux mobiles sans fil [1]

- **Réseau avec Infrastructure** : Les réseaux de communication cellulaires sont basés sur une topologie centralisée, cette technique consiste à découper un territoire en zone (cellules), chacune est desservie par une station de base (le point central). Toutes les communications doivent passer par ce point central qui joue le rôle de les envoyer vers leurs destinations [1].

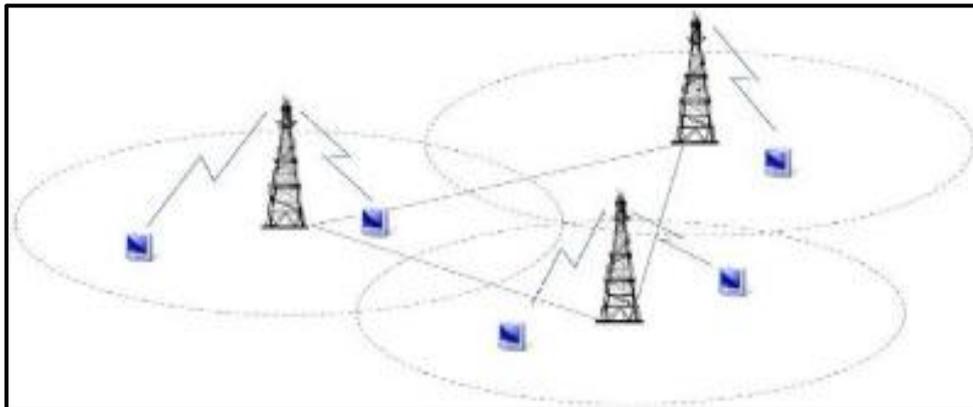


Figure I.3 : Réseau avec Infrastructure [1].

- **Réseau sans Infrastructure** : Les réseaux Ad Hoc mobiles MANET (Mobile Ad Hoc Networks) ne nécessitent pas une infrastructure fixe (des antennes relais ou satellite), pour acheminer les messages d'un nœud vers un autre. Le principe des réseaux ad hoc repose sur la collaboration entre les différents nœuds du réseau. En effet, chaque nœud communique directement avec ses voisins, qui sont chargés de transmettre les messages jusqu'à leur destination.

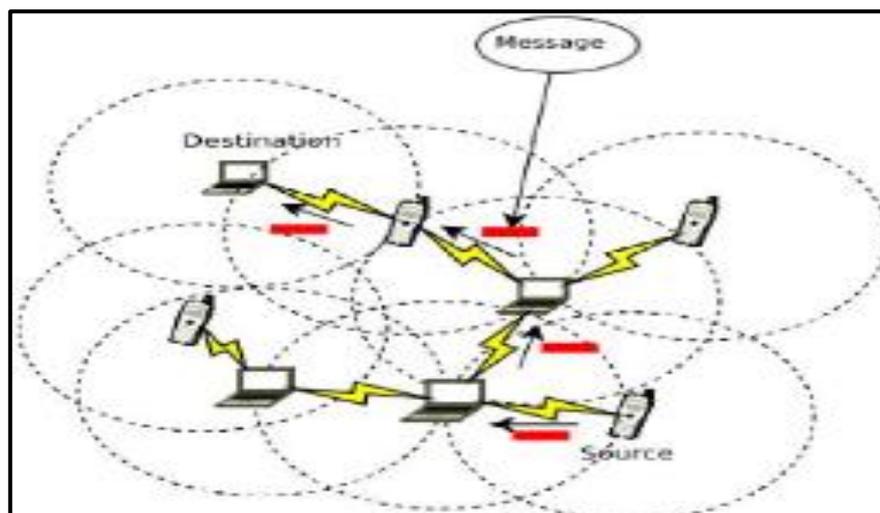


Figure I.4 : Réseau sans Infrastructure [6]

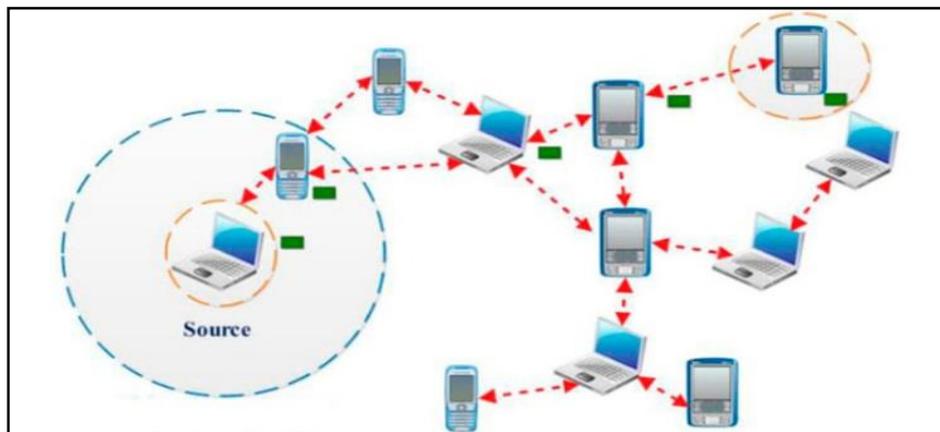
I.2.2 Réseau ad –hoc :

I.2.2.1 Définition :

Les réseaux Ad Hoc, appelés aussi MANET (Mobile Ad Hoc Network) sont formés dynamiquement par un grand nombre de stations mobiles (nœuds) qui se connectent sans utiliser d'infrastructure existante en utilisant comme moyen de communication des interfaces sans fil (ondes radio).

Les nœuds interagissent et peuvent coopérer pour s'échanger des services. Ces nœuds sont donc libres de se déplacer, impliquant une grande variabilité de la topologie du réseau. Chaque nœud est capable de communiquer directement avec ses voisins (se trouvant dans la zone de portée de leur antenne), voisins par lesquels passent les informations pour communiquer avec des nœuds plus éloignés donc peuvent servir comme relais (voisins) aux autres nœuds du réseau [3].

Figure I.5: Mode Ad-hoc [3].



I.2.2.2 Caractéristiques des réseaux Ad Hoc :

Les réseaux ad hoc ont les mêmes propriétés et problèmes que les réseaux sans fil. Les réseaux ad hoc ont pour caractéristiques:

- **Auto-configuration** : l'absence d'une entité centrale d'administration exige que les nœuds doivent s'auto-configurer et s'auto-organiser afin de garantir la flexibilité et l'adaptabilité requises [4].

- **Energie** : la plupart des nœuds Ad Hoc (ordinateur portable, PDA et capteurs) sont limités en matière d'énergie ce qui affecte la durée de vie de ces nœuds surtout si on considère la nature collaborative des protocoles de routage Ad Hoc [4].
- **Qualité de service (QoS : Quality Of Service)** : les applications gourmandes en ressources et surtout celles qui exigent une exécution en temps réel (Vois, jeux en ligne...etc.) représentent un vrai défi pour les réseaux Ad Hoc. Le caractère versatile des nœuds et les ressources d'énergie limitées pourraient nuire à la qualité de service (QoS) offerte à travers un réseau AD HOC [4].
- **Sans infrastructure**: Les MANET ne dépendent donc pas d'une infrastructure préétablie. Chaque nœud opère comme un routeur indépendant, il est responsable de l'établissement et le maintien d'une connectivité continue [5].
- **Bande passante limitée**: La communication dans les réseaux Ad Hoc se base sur le partage d'un médium sans fil (onde radio). Ce qui induit une bande passante modeste pour chaque hôte du réseau [5].
- **Interférences**: Dans un réseau Ad Hoc, les liens radio ne sont pas isolés, par exemple : deux transmissions simultanées sur une même fréquence, ou sur des fréquences proches pouvant interférer et provoquer des erreurs de transmission. Un grand nombre de paquets peuvent être endommagés et perdus lors du transfert [5].
- **Mobilité et topologie dynamique** : Les unités mobiles du réseau se déplacent d'une façon libre et arbitraire. Par conséquent la topologie du réseau peut changer, à des instants imprévisibles, d'une manière rapide et aléatoire. Les liens de la topologie peuvent être unis ou bidirectionnels [6].
- **Contraintes de ressources** : Les nœuds disposent de ressources d'alimentation et de capacités de calcul et de stockage limitées. D'où une gestion efficace est nécessaire pour avoir une longue durée de vie, le trafic de routage devrait être maintenu à un minimum [6].
- **Sécurité physique limitée** : Les terminaux ne sont pas protégés, ils sont menacés de vol ou de destruction. Donc les nœuds d'un réseau Ad Hoc n'ont pas la même protection physique que les nœuds d'un réseau filaire. En effet, ceux d'un réseau Ad Hoc sont censés être mobiles et parfois complètement autonomes, c'est notamment le cas des réseaux de capteurs où les nœuds sont

souvent lâchés, dans un environnement particulier et parfois hostile, sans aucune surveillance particulière [6].

- **Sécurité et Vulnérabilité :** Les réseaux sans fil sont par nature plus sensibles aux problèmes de sécurité que les réseaux filaires. Pour les réseaux Ad Hoc, le principal problème ne se situe pas tant au niveau du support physique mais principalement dans le fait que tous les nœuds sont équivalents et potentiellement nécessaires au fonctionnement du réseau [6].

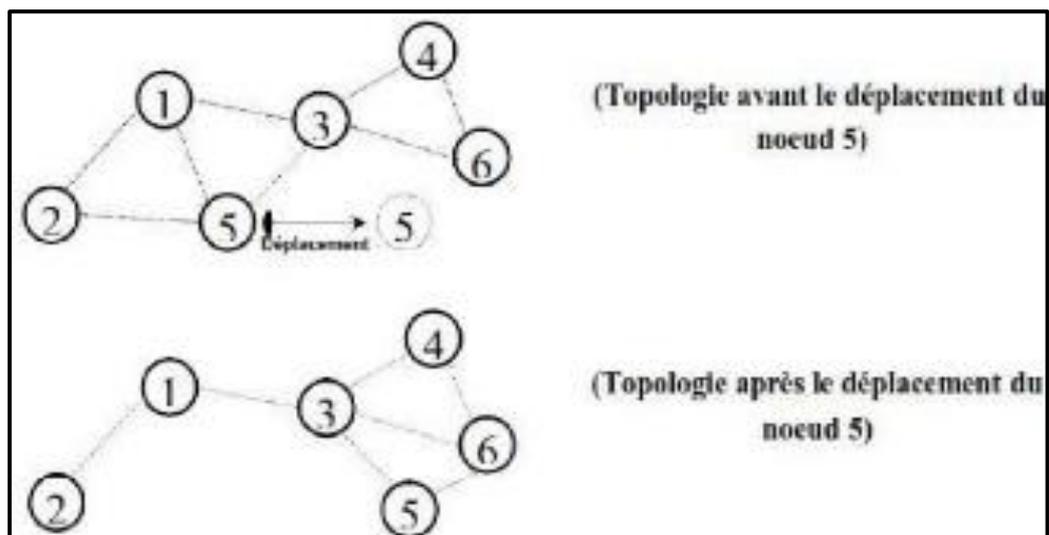


Figure I.6 : Changement de la topologie d'un réseau Ad Hoc [6].

I.2.3 Comparaison entre les deux types des réseaux sans fil :

Les deux types des réseaux sans fil présentent pour chacun d'eux des spécifications l'un par rapport à l'autre.

Réseau avec infrastructure	Réseau sans infrastructure
Avec point d'accès.	Pas de point d'accès.
Performances élevées d'un point d'accès pour couvrir des zones étendues	Les connexions sont limitées
Pas d'interférences	Dans un réseau Ad Hoc comptant un grand nombre d'ordinateurs, les interférences de ces derniers augmentent dans la mesure, où chacun d'entre eux tente d'utiliser le même canal de fréquence

Bande passante élevée.	Bande passante limitée
Coûteux.	Besoin seulement d'ordinateurs
Topologie de réseau statique	Topologie de réseau très dynamique avec multi-sauts.

Tableau I.1 : Comparaison entre les deux types des réseaux sans fil.

I.2.5 Réseaux ad hoc dans la pratiques :

D'une façon générale, les réseaux ad hoc sont utilisés dans toute application où le déploiement d'une infrastructure réseau fixe est trop contraignant, soit parce qu'il est difficile à mettre en place, soit parce que la durée d'installation du réseau ne le justifie pas [7] [8]. Ils peuvent être classés en fonction de différents critères et sont omniprésents au quotidien. En voici quelques exemples:

- **Réseaux personnels WPAN (Wireless Personal Area Network) :** fait référence à un réseau restreint d'équipements informatiques interconnectés à usage personnel. Parmi les technologies sans fil utilisées par les réseaux WPAN, nous pouvons mentionner Bluetooth, infrarouge(IR), ou ZigBee (802.15.4 technologies).

- **Les réseaux de capteurs :** sont des réseaux composés de nœuds comportant une unité de mesure modifiée. Capturer des quantités physiques (chaleur, humidité, vibrations) et les transformer en quantités numériques, une unité de traitement de données de stockage et un module. La communication sans fil. Les capteurs sont souvent fixes, mais il y en a également. Les réseaux de capteurs mobiles.

- **Les réseaux véhicules :** Les véhicules récents utilisent des technologies avancées et ont la capacité. Communiquer entre eux et avec l'extérieur comme illustré dans la figure 1.7. Ils sont équipés de capteurs de toit et/ou de pare-chocs permettant de créer des plateformes réseau, les véhicules mobiles ad hoc et de réseau passant les uns à côté des autres. Des prototypes ont été mis au point pour les véhicules d'urgence (ambulances, pompiers, etc.).

Dans un système routier, afin d'échanger des informations en vue de la gestion et de la régulation du trafic routier.

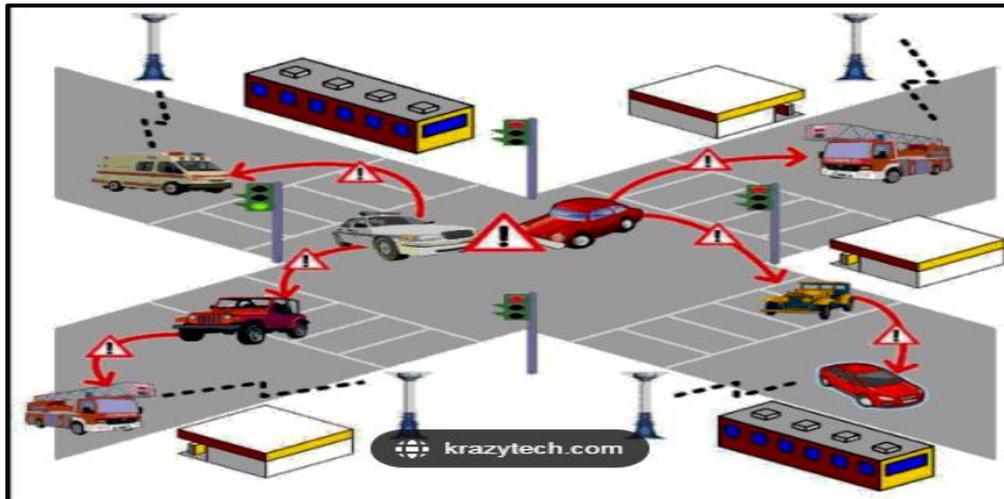


Figure I.7 : Les réseaux véhiculaires en mode ad hoc [9].

I.2.5 Les différentes catégories de réseaux sans Fil (RSF) :

Il existe un autre classement des réseaux sans fil basé sur le critère distance, ou portée, entre points d'accès et stations, comme l'illustre la figure (I.6).

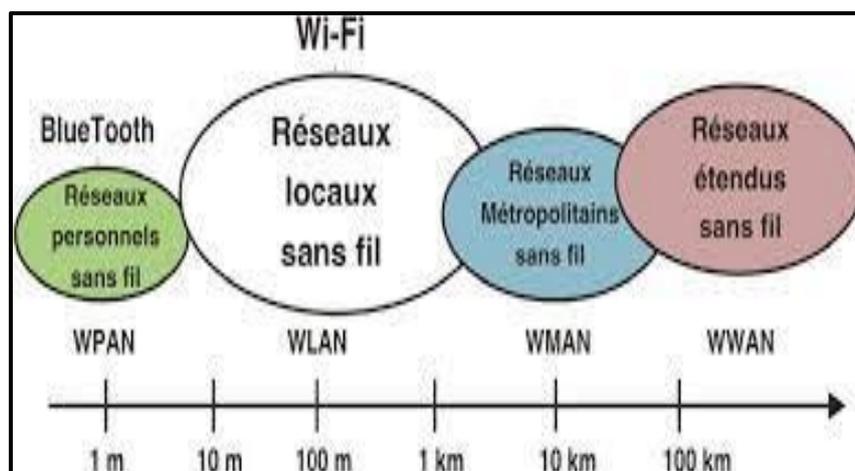


Figure I.8 : Classement des réseaux sans fil selon la portée .

Suivant la portée et le taux de transmission radio disponibles, on parlera de différents types de réseaux sans fil. Les applications vont souvent varier d'un type de réseaux à l'autre c'est pourquoi chaque type de réseau repose sur des normes de communication différentes.

I.2.5.1 Réseau personnel sans fil (WPAN) :

- Faible portée : quelques dizaines de mètres autour de l'utilisateur.
- Se déplacent avec l'utilisateur

- Sert à relier des périphériques (imprimante, téléphones portables avec un ordinateur). Ou deux machines très peu distantes.
- Pas de station relais

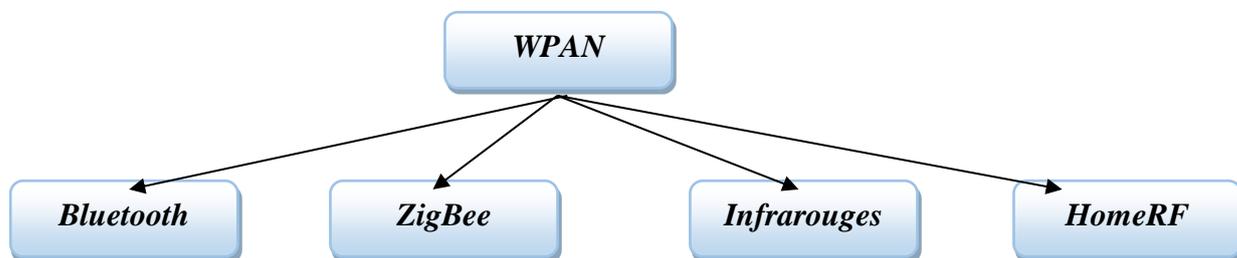


Figure I.9 : Réseau personnel sans fil (WPAN).

- ❖ Bluetooth : (IEEE 802.15, débit: 1 Mbps, bande: entre 2400 et 2483.5 mhz, Porté max=30 m).
- ❖ IrDA (infrarouge) : (débit max=4Mbps, portée =quelques mètres (2m)).
- ❖ ZigBee : opèrent sur la bande de fréquences des 2,4 GHz et sur 16 cana permet d'obtenir des débits pouvant atteindre 250 Kb/s avec une portée maximale de 1mètres environ.
- ❖ HomeRF (Home Radio Frequency: lancé par HomeRF Working Group formé par Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola et MicroSoft, debit= 10Mbps/s, portée max=100m, bande=2.4Ghz).

I.2.5.2 Réseaux locaux sans fil (WLAN: Wireless Local Area Network) :

- De 50 à quelques centaines de mètres
- Couvrent une localisation fixe
- Station relais

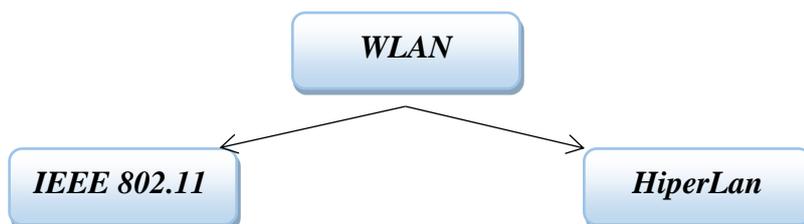


Figure I.10: Réseau locaux sans fil (WLAN)

- ❖ IEEE 802.11(standards de USA) (entre 4 et 54 Mbps, bande 2.4GHZ à 2,4835 GHz).
- ❖ HiperLan (High Performance LAN, Européen Télécommunications Standards Institue). (HiperLan1: débit 20 Mbps, portée:100metres, bande de fréquences=5.3Ghz, HiperLan2: d ébit 54Mbps).

I.2.5.3 Les reseaux metropolitains sans fil (WMAN : Wireless Metropololitan Area Network) :

- IEEE 802.16.
- Débit=1-10Mbps.
- Portée de 4 à 10 kilomètres.
- Fournit un accès réseau sans fils à des immeubles connectés par radio à travers une antenne extérieure à des stations centrales reliées au réseu filaire.

I.2.5.4 Les réseaux étendus sans fil (WWAN : Wireless Wide Area Network) :

- GSM (Global System for Mobile communications).
- GPRS(General Packet Radio Service),
- UMTS (Universal Mobile Télécommunications System)
- Wimax standard de réseau sans fil poussé par Intel et Nokia offrant un débit max =70Mbps.sur une portée de 50 kilomètres. Bande (2 à 11G hz).

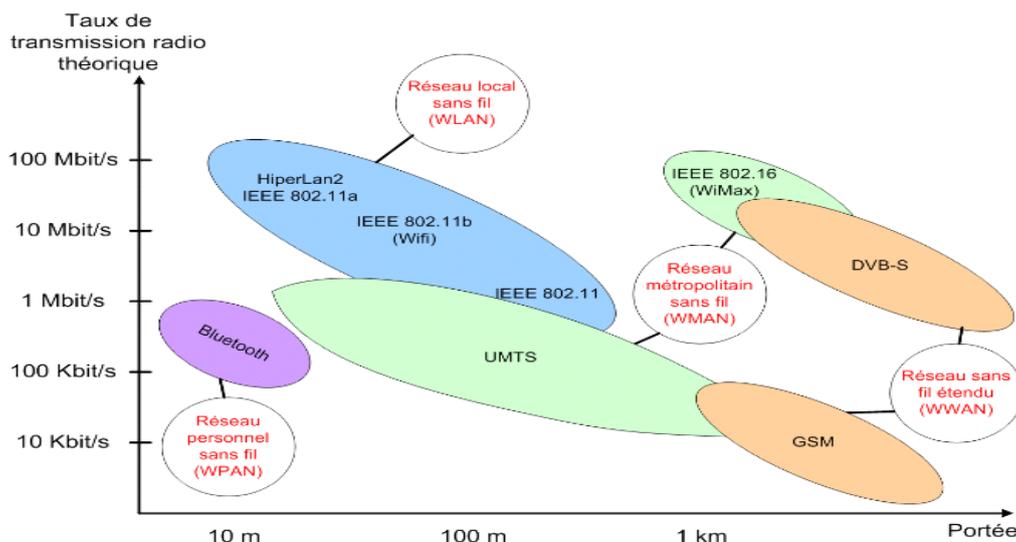


Figure I.11: Les catégories de réseaux sans fil.

La figure I.6 présente ces différentes catégories. Dans la suite de ce document nous nous intéresserons uniquement aux réseaux locaux sans fil (WLAN) dont nous allons maintenant présenter quelques caractéristiques en nous intéressant surtout aux différences entre ces réseaux et les réseaux filaires.

I.2.6 Les avantages et les inconvénients des réseaux sans fil :

I.2.6.1 Les avantages des réseaux sans fil :

- **Financier** : Le réseau sans fil permet d'éviter l'obligation d'un câblage coûteux qui peut se révéler rapidement obsolète ou inutile en cas de déménagements de locaux.
- **Facilité et flexibilité** : Dans le contexte d'un réseau temporaire, pour des formations, des expositions ou autre chantiers, pour couvrir des zones difficiles d'accès aux câbles, et relier des bâtiments distants.
- **Mobilité** : Par exemple, tous les participants d'une réunion sont automatiquement interconnectés sans avoir besoin de perdre du temps en début de réunion pour relier chaque personne.

I.2.6.2 Les inconvénients des réseaux sans fil :

- **Qualité et continuité du signal** :

Ces notions ne sont pas garanties du fait des problèmes pouvant venir des Interférences du matériel et de l'environnement.

- **Problèmes de sécurité :**

Les données échangées sont transmises par voie aérienne et couvrent de grandes distances dans le cadre d'une liaison hertzienne donc il est possible en théorie de récupérer ses données même si celles-ci sont cryptées et confidentielles.

I.2.7 Modes de transmission :

Dans ce tableau, on expose les modes de transmission de réseau sans fil.

Caractéristiques	Unidirectionnelle (Point A Point)	Omnidirectionnelle
Portée	Importante (qq kms)	Faible
Vitesse	Elevée	Faible
Interférences	Rares	Fréquente
Confidentialité	Bonne	Mauvaise /Diffusion des transmissions
Applications	Interconnexion de 2 bâtiments sans passer par un opérateur (privée)	Gestion d'un parc de portables
Technologies utilisées	Laser Infrarouge / Micro-ondes Satellite /Radio	Gestion d'un parc de portables

Tableau I .2 : Modes de transmission

I.3 Conclusion :

Dans cette section, nous avons découvert le réseau sans fil et les différentes catégories de réseaux sans fil, où nous avons connu la différence entre WPAN, WWMA, WMAN et WLAN. Nous avons présenté les avantages et les inconvénients des réseaux sans fi

Chapitre II
Les réseaux des capteurs
sans fil



II.1 Introduction :

Le réseau de capteurs sans fil (WSN) fait référence à un groupe de capteurs spatialement dispersés et dédiés pour surveiller et enregistrer les conditions physiques de l'environnement et organiser les données collectées à un emplacement central. WSN mesure les conditions ambiantes telles que la température, le bruit, les niveaux de pollution, l'humidité, la vitesse et la direction du vent, la pression, etc.

II.2 Définition d'un RCSF :

Les progrès de la technologie des communications sans fil au cours des dernières décennies ont permis de produire, à un coût raisonnable, des composants de quelques millimètres cubes en volume appelés micro capteurs.

Des capteurs sont mis en œuvre pour collecter certaines informations du monde physique, telle que la pression, les vibrations, la température et d'autres informations, et les envoyer à un type spécial de nœud. La figure 2.1 montre un exemple de réseau de capteurs sans fil. Le RCSF est utilisé dans de nombreux domaines, y compris les applications militaires et civiles champ de bataille, surveillance environnementale, détection biologique, diagnostic industriel, Surveillance de sites stratégiques (tels que site pétrolier, site nucléaire) [10].

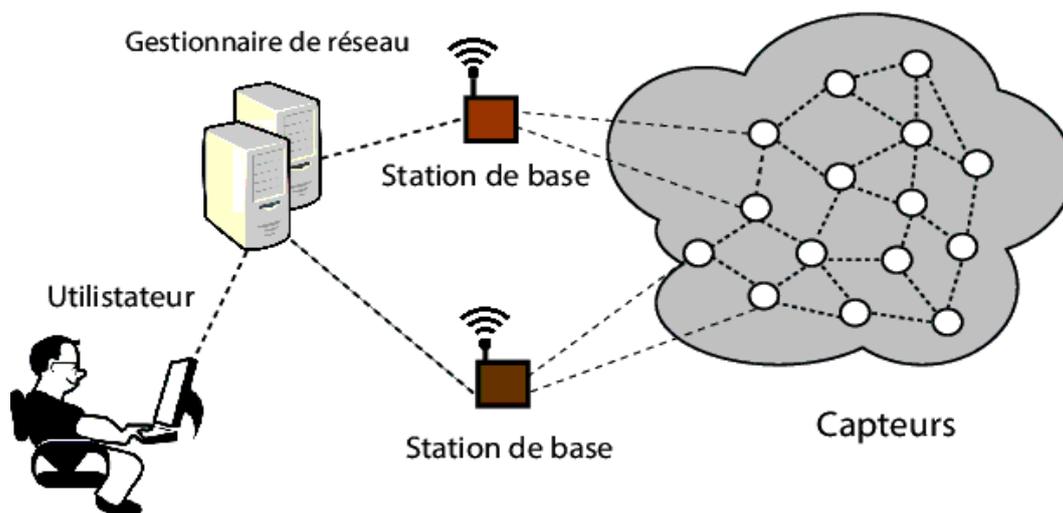


Figure II.1 : Exemple d'un Réseau Capteur Sans Fil [11].

II.3 Nœud capteur :

II.3.1 Définition d'un nœud capteur :

Un nœud capteur est un dispositif de taille réduite autonome avec des ressources très limitées capable de collecter, traiter et communiquer les informations sur son environnement.

II.3.2 Composants matériels d'un nœud capteur sans fil :

Cette disposition représente les composants du nœud à l'intérieur du capteur

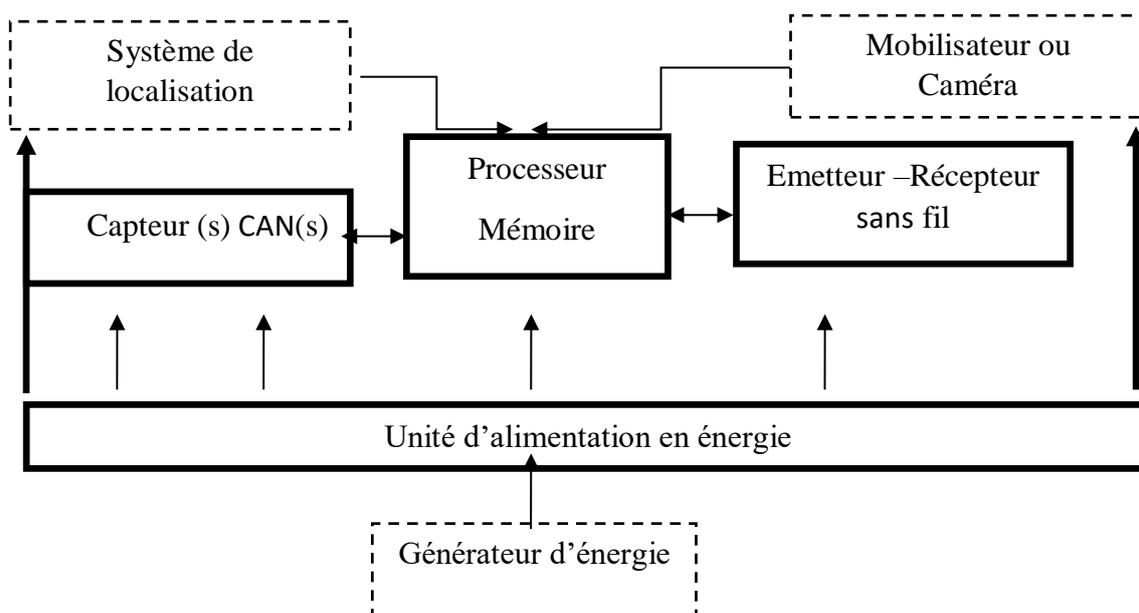


Figure II.2 : Composants de base d'un nœud capteur [15].

- **L'unité de capture :**

Cette unité représente le travail principal de capture ou de mesure des données physiques de l'objet cible. Le signal analogique (convertisseur analogique/numérique) correspondant aux événements observés par le capteur est ensuite transformé en données numériques par ADC, puis transmis à l'unité de traitement pour l'analyse.

- **L'unité de traitement :**

Il joue un rôle important dans la collaboration entre les nœuds pour effectuer les tâches prédéfinies. Il permet le traitement des données ainsi que la gestion et la fonctionnalité d'un nœud capteur.

- **L'unité de communication :**

Il est chargé d'effectuer toutes les transmissions et réceptions de données via le support sans fil. L'alimentation l'un des composants les plus importants d'un nœud de capteur est la batterie, qui n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. De plus, des blocs d'alimentation rechargeables soutenus par des cellules

Les cellules photovoltaïques (cellules solaires) permettent de récupérer l'énergie de l'environnement. Un nœud de capteur peut également avoir d'autres sous-unités dépendantes de l'application, telles qu'un système de localisation, qui est utile pour les techniques de suivi. Tâches de détection et de routage du réseau de capteurs. À l'occasion, un mobilisateur peut être tenu de déplacer les nœuds de capteurs au besoin pour effectuer des tâches spécifiques [10].

La figure II.3 résume un exemple de consommation électrique d'un capteur MICAZ. On observe que, parmi ces trois unités, l'unité de communication est celle qui consomme le plus d'énergie.

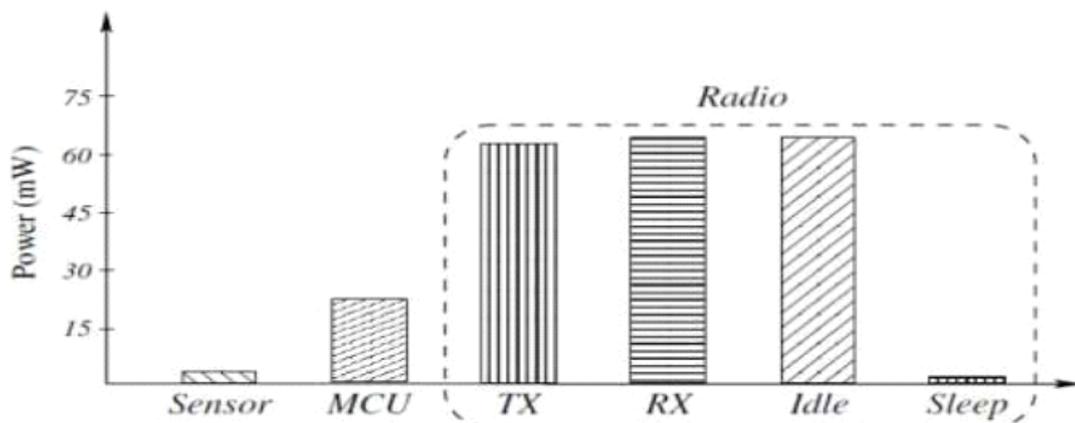


Figure II.3: Consommation d'énergie d'un capteur MICAZ [16].

II.3.3 Les types d'un capteur :

Il existe de nombreux types de capteurs, nous en verrons des exemples à travers la figure II.4.

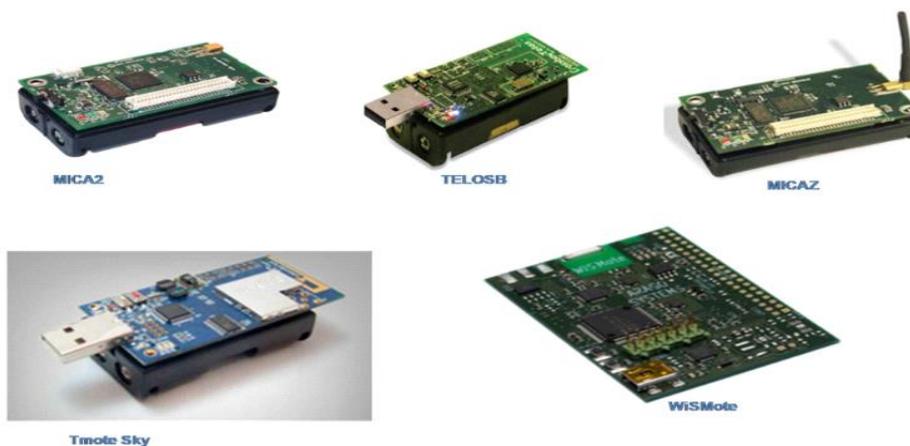


Figure II.4: Quelques types de nœud capteur.

II.3.4 Caractéristiques techniques des capteurs :

Ce tableau représente les caractéristiques techniques du capteur.

Propriétés	TMOTESKY	WISMOTE	MICAZ	TELOB
Microcontrôleur	MSP430	TI	A TMEGA	TI
	F1611	MSP430F5437x	128 L	MSP430
Fréquence d'horloge	3.9Mhz	16 Mhz	16 Mhz	8Mhz
RAM (ko)	10	16	4	10
ROM (ko)	48	256	128	48
Radio	CC2420	CC2420	CC2420	CC2420
Batterie	2.1 - 3.6 V	2.1 - 3.6 V	2.7 – 3.3 V	1.8 - 3.6V

Tableau II.1 : Caractéristiques techniques des capteurs [17], [18].

II.3.5 Architecture d'un nœud capteur :

Les nœuds capteurs sont des dispositifs électroniques de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capables de mesurer ou de détecter

un événement réel (ex. température, lumière, pression, etc.), et de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité (capteurs, unité de traitement...) sur une distance limitée à quelques mètres. Un nœud capteur est principalement composé de quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie chacune a un rôle bien déterminé, comme s'est illustré par la Figure II.5 Il peut contenir également, suivant son domaine d'application, des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation qui donne au capteur sa position (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire) , ou bien un système de mesure de distance ou d'angle avec un nœud capteur voisin[10].

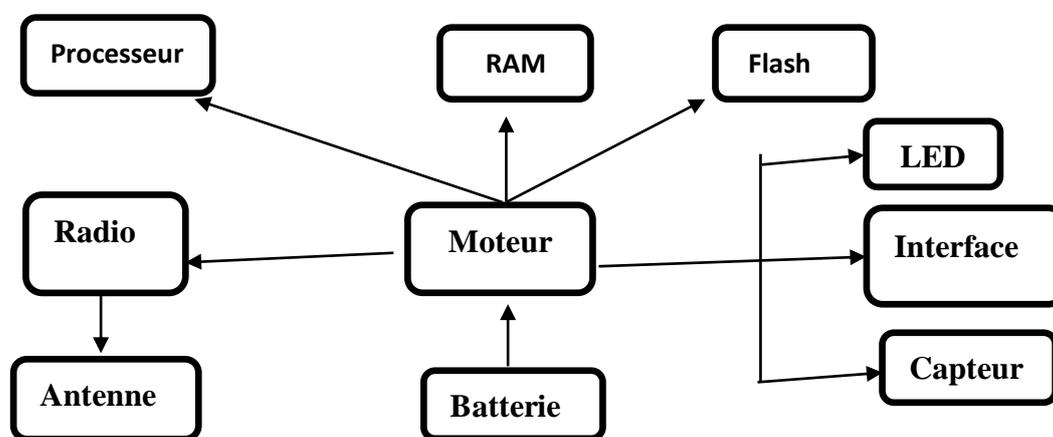


Figure II.5 : Architecture d'un capteur sans fil.

➤ **Unité de traitement :**

Moteur, processeur, RAM et Flash : On appelle généralement Mote la carte physique utilisant le système d'exploitation pour fonctionner. Celle-ci a pour cœur le bloc constitué du processeur et des mémoires RAM et Flash. Cet ensemble est à la base du calcul binaire et du stockage, temporaire pour les données et définitif pour le système d'exploitation.

Cette unité est chargée d'exécuter les protocoles de communications. Qui permettent de faire collaborer le nœud avec les autres nœuds du réseau. Elle peut aussi analyser les données captées pour alléger la tâche du nœud puits.

➤ **Unité de transmission :**

Cette unité est donc généralement équipée d'une radio ainsi que d'une antenne. Elle est responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données sur un médium sans fil. Elle peut être de type optique (comme dans les nœuds Smart Dust), ou de type radiofréquence.

Les communications de type optique sont robustes vis-à-vis des interférences électriques. Néanmoins, elles présentent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre les entités communicantes. Par conséquent, elles ne peuvent pas établir de liaisons à travers des obstacles. [10]

➤ **Unités de captage :**

Une diode LED, une interface, un capteur : On retrouve donc des équipements de différents types de détecteur et d'autre entrée. Le capteur est généralement composé de deux sous-unités : le récepteur (reconnaissant l'analyste) et le transducteur (convertissant le signal du récepteur en signal électrique).

Le capteur est responsable de fournir des signaux analogiques, basés sur le phénomène observé, au convertisseur Analogique/Numérique. Ce dernier transforme ces signaux en un signal numérique compréhensible par l'unité de traitement. [10]

➤ **Unités de contrôle d'énergie**

Une Batterie : Un micro-capteur est muni d'une ressource énergétique (généralement une batterie de type AAA) pour alimenter tous ses composants. Cependant, en conséquence de sa taille réduite, la ressource énergétique dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable.

Cette unité peut aussi gérer des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement observé telles que les cellules solaires, afin d'étendre la durée de vie totale du réseau. Cependant quelques différences existent suivant les fabricants. Chacun d'eux développe son type de capteurs, ces types peuvent être mica, mica2, telos ou telosb par exemple.

La batterie : un capteur est muni d'une batterie pour alimenter tous ses composants.

Cependant, à cause de sa taille réduite, la batterie dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs.

II.3.6 Composition d'un nœud capture :

Cette image montre la composition d'un nœud capture sans fil

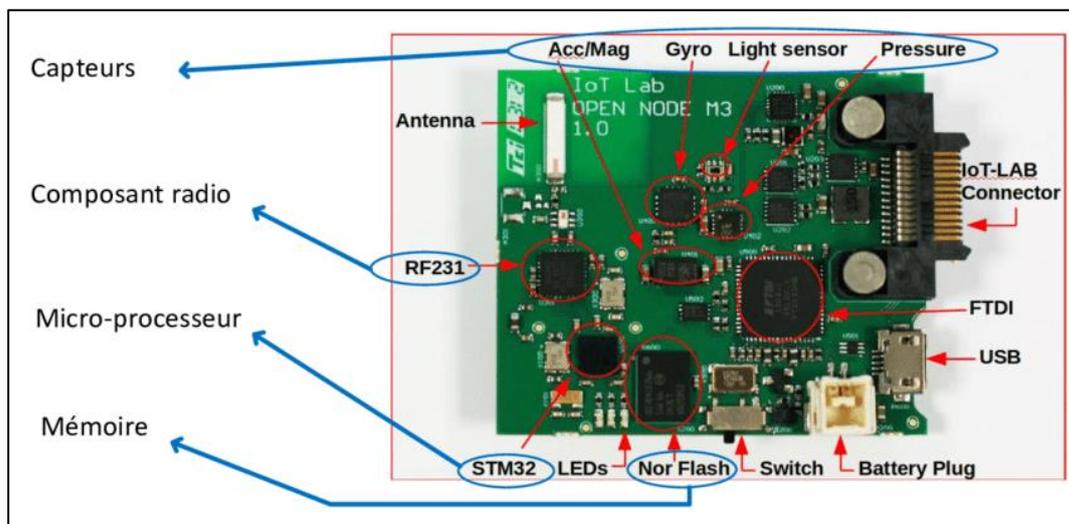


Figure II.6 : Composition d'un nœud capture.

II.4 Réseaux de capteurs sans fil (RCSF) :

Un RCSF est un type spécial de réseau ad-hoc défini par un ensemble coopérant de capteurs déployés dans une zone géographique appelée zone d'intérêt ou zone de captage, afin de surveiller un phénomène quelconque et de récolter des données d'une manière autonome.

Les capteurs utilisent une communication sans fil (Wifi ou Zig Bee) pour acheminer les données captées avec un routage multi-sauts vers un nœud considéré comme "point de collecte", appelé station de base ou nœud puits. Cette dernière peut être connectée à une machine puissante via satellite, réseaux GPRS ou Par internet (Figurer II.7).

L'utilisateur peut adresser ses requêtes aux capteurs en précisant l'information d'intérêt [16].

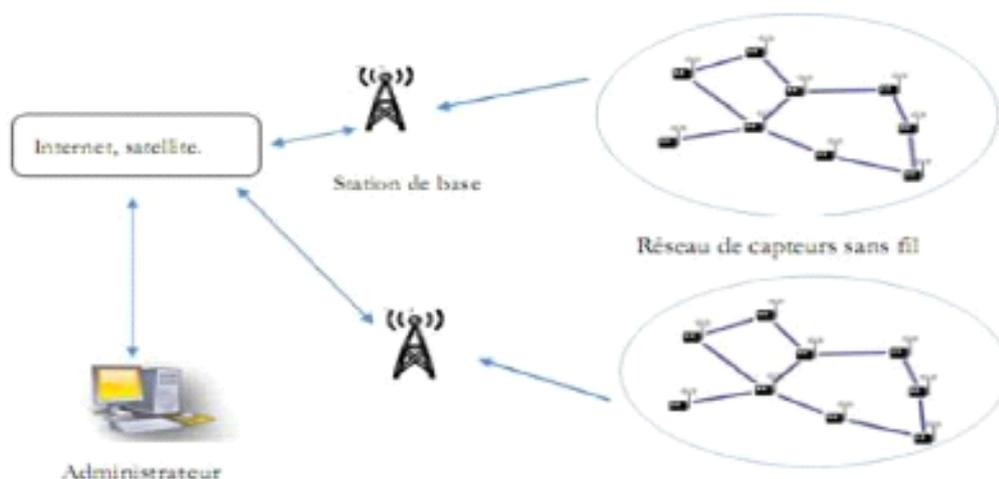


Figure II.7 : Exemple d'un Réseau de Capteurs Sans Fil [16].

II.4. 1 Architecteur d'un RCSF :

Le RCSF se caractérisent par l'absence d'une infrastructure déterminée au préalable, les nœuds capteurs la construisent tout en permettant l'interaction avec l'environnement où ils appartiennent et en répondant aux différentes requêtes venant des utilisateurs ou des réseaux externes.

Par ailleurs, les nœuds capteurs comme tout autre composant de télécommunication adhèrent à une architecture protocolaire spécifique. La réalisation de cette dernière requiert la mise en œuvre de techniques développées pour les réseaux Ad Hoc. Cependant, de nouveaux problèmes apparaissent engendrés entre autre par la sévérité des contraintes dues aux limitations de ressources physiques des RCSF. C'est pourquoi, il est commode que la conception des protocoles de communication soit faite d'une manière optimale.

II.4. 1 .1 Architecture de communication :

Après le déploiement des nœuds capteurs sur une certaine zone de captage, ceux-ci commencent par la découverte de leurs voisins afin de construire la topologie de communication.

Ainsi, ils deviennent capables d'accomplir les tâches que leur sont affectées. Selon une communication multi-sauts, les capteurs sont chargés de collecter des données, les router vers un nœud particulier appelé nœud puits.

Cette dernière analyse ces données et transmet à son tour l'information collectée à l'utilisateur via internet ou bien satellite.

Comme l'indique la figure II.8, l'ensemble de nœuds construisant le RCSF est considéré comme étant un réseau d'acquisition de données. Par contre, le réseau de distribution de données est composé des utilisateurs, et du réseau de communication : l'internet et les satellites.

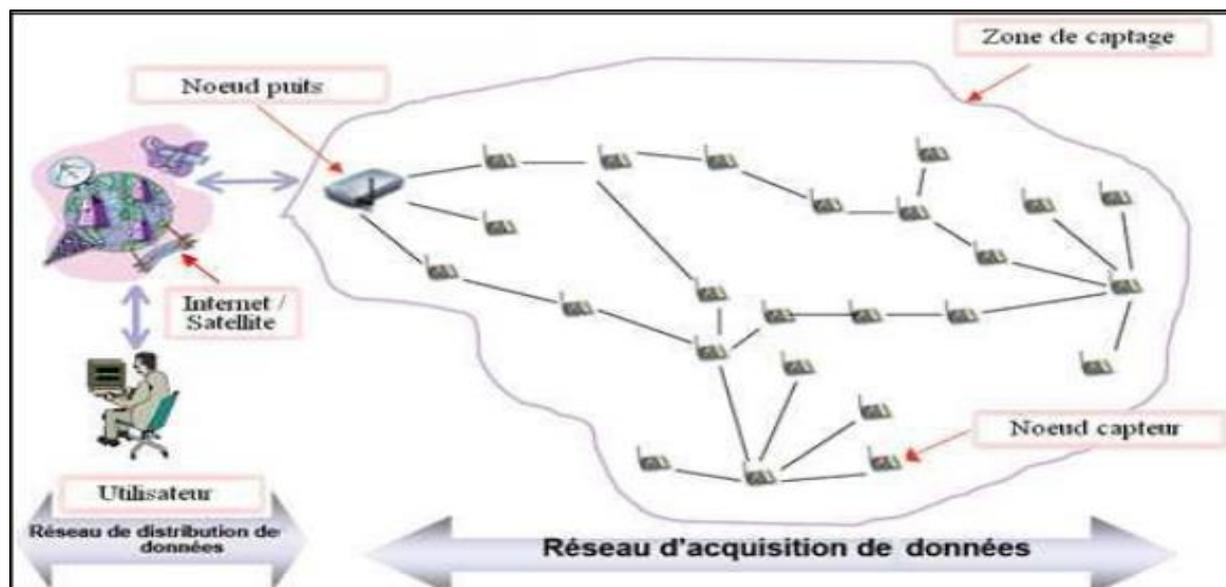


Figure II.8 : Architecture d'un Réseau de Capteurs Sans Fil [10].

II.4. 1.2 Architecture protocolaire :

Dans le but d'un établissement efficace d'un RCSF, une architecture en couche adoptée afin d'améliorer la robustesse du réseau. Une pile protocolaire de cinq couches est donc utilisée par les nœuds du réseau.

Citons la couche application, la couche transport, la couche réseau, la couche liaison de données et la couche physique.

De plus, cette pile possède trois plans (niveaux) de gestion : le plan de gestion des tâches qui permet de bien affecter les tâches aux nœuds capteurs, le plan de gestion de mobilité qui permet de garder une image sur la localisation des nœuds pendant la phase de routage, et le plan de gestion de l'énergie qui permet de conserver le maximum d'énergie[11].

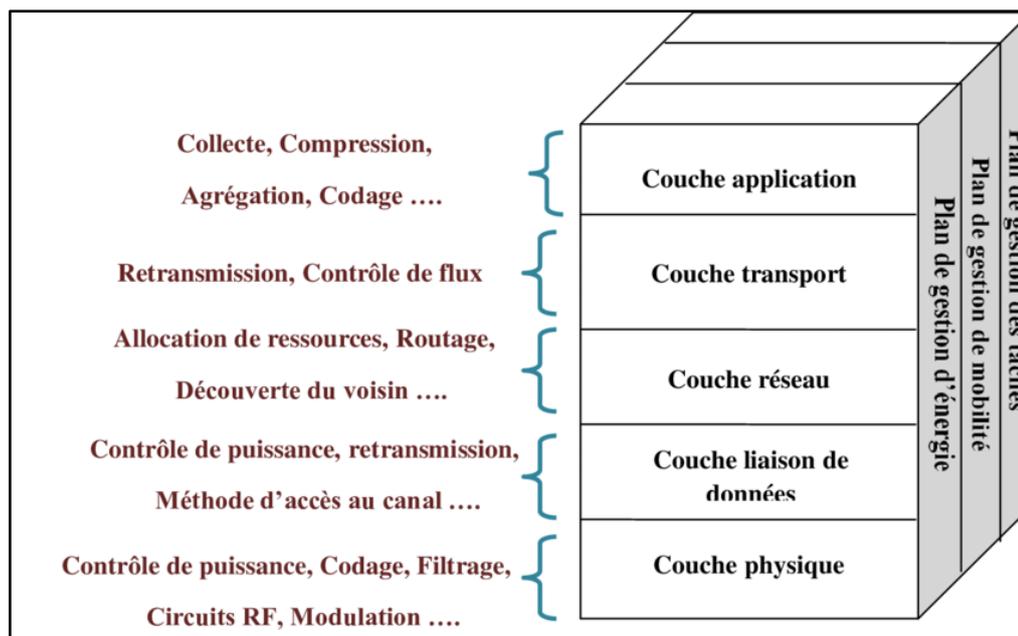


Figure II.9 : La pile protocolaire dans les réseaux des capteurs [11].

II.4. 1.3 Couches de la pile protocolaire :

Une pile de protocoles est une mise en œuvre particulière d'un ensemble de protocoles de communication réseau ou chaque couche s'appuie sur celles qui sont en dessous afin d'y apporter un supplément de fonctionnalité. Une pile protocolaire comprend cinq couches et trois plans :

- **Couche application :**

Elle assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc de la couche la plus proche des utilisateurs, gérée directement par les logiciels. Parmi les protocoles d'application, nous citons : SMP (Sens or Management Protocol) et TADAP (Task Assignment and Data Advertisement Protocol).

- **Couche transport :**

Elle vérifie le bon acheminement des données et la qualité de la transmission. Dans les RCSF, la fiabilité de transmission n'est pas majeure. Ainsi, les erreurs et les pertes sont tolérées. Par conséquent, un protocole de transport proche du protocole UDP et appelé UDP-Like (User Datagram Protocol Like) est utilisé. Cependant, comme le protocole de transport universel est TCP (Transmission Control Protocol), les RCSF doivent donc posséder, lors d'une communication avec un réseau externe, une interface TCP-splitting pour vérifier la compatibilité entre ces deux réseaux communicants.

- **Couche réseau :**

Elle s'occupe du routage de données fournies par la couche transport. Elle établit les routes entre les nœuds capteurs et le nœud puits et sélectionne le meilleur chemin en termes d'énergie, délai de transmission, débit, etc.

Les protocoles de routage conçus pour les RCSF sont différents de ceux conçus pour les réseaux Ad Hoc puisque les RCSF sont différents selon plusieurs critères comme :

- l'absence d'adressage fixe des nœuds tout en utilisant un adressage basé-attribut.

- l'établissement des communications multi-sauts.

- l'établissement des routes liant plusieurs sources en une seule destination pour agréger des données similaires, etc. Parmi ces protocoles, nous citons : LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) et SAR (Sequential Assignment Routing).

- **Couche liaison de données :**

Elle est responsable de l'accès au media physique et la détection et la correction d'erreurs intervenues sur la couche physique. De plus, elle établit une communication saut-par-saut entre les nœuds. C'est-à-dire, elle détermine les liens de communication entre eux dans une distance d'un seul saut. Parmi les protocoles de liaison de données, nous citons: SMACS (Self-organisation Medium Access Control for Sens or networks) et EAR (Eavesdrop And Registre)

- **Couche physique :**

Elle permet de moduler les données et les acheminer dans le media physique tout en choisissant les bonnes fréquences.

II.4 .2 Classification des réseaux de capteurs sans fil :

Les RCSF peuvent être classés selon plusieurs critères comme l'homogénéité, la mobilité, le mode de fonctionnement, ...

II.4 .3.1 Réseaux de capteurs homogènes et hétérogènes :

Les réseaux des capteurs sont divisés en deux catégories en fonction du type de capteurs qui les composent: les réseaux homogènes et les réseaux hétérogènes [12].

Dans les réseaux de capteurs homogènes, tous les nœuds sont identiques en termes de contraintes d'alimentation de la batterie, de détection et de ressources de communication. Par contre, dans un réseau de capteurs hétérogènes certains, nœuds peuvent avoir plus de capacité de batterie, de capacité de traitement et certaines données peuvent être collectées et agrégées au niveau de ces nœuds. Le déploiement de ce type de réseau est relativement complexe et son application est limitée, car elle nécessite une distribution en douceur de différents types de nœuds dans des emplacements spécifiques.

Ces réseaux ont fait leurs preuves dans le cadre de déploiements réels en raison de leur capacité à augmenter la durée de vie du réseau sans augmentation significative du coût [10].

II.4 .2.2 Réseaux de capteurs fixes et mobiles :

Dans les réseaux des capteurs fixes, les capteurs restent immobiles, ils ne se déplacent pas. Ils sont utilisés par exemple pour surveiller les séismes ou les changements de température.

Dans les réseaux de capteurs mobiles, les nœuds de capteurs ou les phénomènes observés se déplacent, par exemple dans la zone surveillée les capteurs mobiles peuvent améliorer la sécurité du réseau et la couverture faible du réseau, mais souffrent de certaines exigences d'alimentation et de la reconfiguration du réseau.

II.4 .2.3 Réseaux de capteurs basés sur des événements ou basés sur des requêtes :

Dans les applications de réseaux de capteurs basées sur des événements, telles que la détection des incendies de forêt, un ou plusieurs capteurs détectent un événement et le signalent à une station de base ou à une station de surveillance [10].

Cependant, dans les réseaux de capteurs basés sur des requêtes tels que le suivi des stocks dans des entrepôts d'une usine, les capteurs restent silencieux jusqu'à ce qu'ils reçoivent une demande de la station de surveillance [10].

II.4 .2.4 Réseaux de capteurs à structure plate vs structure hiérarchique :

Il existe deux structures de réseau qui déterminent la manière dont les capteurs sont assemblés et comment les informations des capteurs sont acheminées sur le réseau : une structure plate et une structure hiérarchique.

Avec une structure plate, un grand nombre de nœuds, en général, homogènes sont déployés dans la zone de routage et les données sont acheminées par les nœuds un à un vers la station de base.

Dans les réseaux de capteurs hiérarchiques, les nœuds sont organisés en groupes (clusters) et pour chaque groupe un nœud est sélectionné en tant que tête de groupe. Les nœuds membres d'un groupe envoient les données capturées vers la tête de groupe (Cluster-Head), qui collecte les données et les envoie à la station de base.

II.4 .3 Types de RCSF :

Il existe plusieurs types de Réseaux de Capteurs Sans Fil qui se diffèrent généralement en fonction du domaine d'application, et selon leur environnement de déploiement ils font face à différentes contraintes et défis [10].

II.4 .3.1 RCSF terrestres :

Les RCSF terrestres se composent généralement d'un grand nombre (de centaines à des milliers) de nœuds à faible coût déployés dans une zone donnée. Dans ce type de réseaux, les nœuds capteurs doivent transmettre efficacement les données collectées à la station de base. Comme la charge de la batterie est limitée et généralement non rechargeable.

Les nœuds capteurs terrestres peuvent être équipés d'une source d'alimentation secondaire telle que des cellules solaires. Les applications les plus courantes des Réseaux de Capteurs Sans Fil terrestres sont la détection et la surveillance environnementales, la surveillance industrielle et les explorations de surface [11].

II.4 .3.2 RCSF souterrains :

Les RCSF souterrains se composent d'un certain nombre de nœuds capteurs déployés dans des grottes ou des mines ou sous terre pour surveiller les conditions souterraines.

Pour transmettre les informations des nœuds capteurs souterrains à la station de base (Sink), des nœuds puits supplémentaires sont situés au-dessus du sol. Ce type de réseaux font face à différents défis tels que la communication sans fil et le rechargement ou le remplacement de la batterie des nœuds déployés sous terre.

La surveillance de l'agriculture, la surveillance souterraine des sols, de l'eau ou des minéraux et la surveillance des frontières militaires sont les domaines d'application des RCSF souterrain [11].

II.4 .3.3 RCSF Sous-marins :

Un ensemble de nœud capteur déployée sous l'eau, un peu des nœuds capteurs sont déployés dans la zone d'intérêt car ces nœuds aquatiques sont très coûteux, et des véhicules sous-marins autonomes sont utilisés pour explorer ou collecter des données à partir de ces nœuds capteurs.

La communication sans fil sous-marine utilise des ondes acoustiques qui présentent divers problèmes tels que des problèmes de bande passante, de retard de propagation et de latence élevée.

Les nœuds sont équipés d'une batterie limitée qui ne peut être ni remplacée ni rechargée, ce qui nécessite des techniques de communication et de mise en réseau sous-marines éco énergétiques.

Parmi les applications des RCSF sous-marins, figure la surveillance de la Pollution, la surveillance et l'exploration sous-marine, la surveillance sismique, la surveillance des équipements, la robotique sous-marine, etc....

II.4 .3.4 RCSF multimédia :

Les RCSF multimédia se composent d'un certain nombre de nœuds capteurs à faible coût équipés de caméras et de microphones. Les nœuds capteurs multimédias sont capables de stocker, de traiter et de récupérer des données multimédia telles que de la vidéo, de l'audio et des images. Ils nécessitent une bande passante élevée et ils sont caractérisés par une consommation d'énergie élevée, ils doivent fournir la Qualité de Service, le traitement de données et les techniques de compression. Ces réseaux sont

déployés de manière planifiée pour permettre la surveillance et le suivi des événements et garantir la couverture. Ils peuvent être utilisés dans des applications telles que la surveillance des frontières et la surveillance du trafic routier.

II.4 .3.5 RCSF avec nœuds mobiles :

Ils sont constitués de nœuds capteurs mobiles capables de se déplacer et d'interagir avec l'environnement. Les nœuds mobiles peuvent se repositionner et s'organiser au sein d'un réseau. Les RCSF avec nœuds mobiles font face à divers défis tels que le déploiement, la gestion de la mobilité, la localisation avec mobilité et le contrôle des nœuds mobiles, le maintien de la couverture, la réduction de la consommation d'énergie et le maintien de la connectivité réseau.

Les principaux exemples d'applications des RCSF avec nœuds mobiles sont la surveillance (environnement, habitat, sous-marin), la surveillance militaire, le suivi des cibles.

II.4 .4 Caractéristiques des RCSF :

II.4 .4.1 Forte densité des nœuds :

Les RCSF peuvent comporter des milliers à des dizaines de milliers des nœuds. La haute densité des nœuds génère une quantité importante de données, augmente les collisions et la consommation énergétique. D'autre part, elle permet la redondance qui peut être exploitée pour renforcer la tolérance aux pannes dans ce type de réseaux [10].

II.4 .4.2 Mode de communication :

Les nœuds capteurs utilisent principalement un paradigme de communication plusieurs-à-un (Many-to-one) [10].

II.4 .4.3 Sécurité limitée :

Les RCSF sont plus touchés par le problème de sécurité que les réseaux flairés classiques car, souvent, les nœuds capteurs ne sont pas protégés contre les mauvaises manipulation ou attaques. Le brouillage et les attaques de retransmission.

Ils peuvent empêcher l'opération de transmission des paquets. Cela se justifie par les contraintes et la limitation physique qui font que le contrôle des données transférées est minimisé [1].

II.4.4.4 L'absence d'infrastructure: (Auto-organisation du réseau et la topologie dynamique)

En raison du nombre important de nœuds capteurs et leurs emplacements dans des endroits hostiles où l'intervention humaine n'est pas envisageable, l'auto-organisation peut être nécessaire. D'ailleurs, le manque d'énergie ou la destruction physique peuvent causer la mise hors service de certains nœuds.

De nouveaux nœuds doivent pouvoir rejoindre le réseau initial. Le réseau doit donc être capable de s'auto organiser et de se modifier pour qu'il puisse continuer à fonctionner [10].

II.4.4.5 Ressources limitées :

Les nœuds capteurs sont des objets limités en termes de capacité mémoire, puissance de traitement, bande passante et énergie [10].

II.4.5 Applications des RCSF :

Les réseaux des capteurs peuvent se révéler très utiles dans de nombreuses applications lorsqu'il s'agit de collecter et de traiter des informations provenant de l'environnement. Parmi ces domaines nous citons :

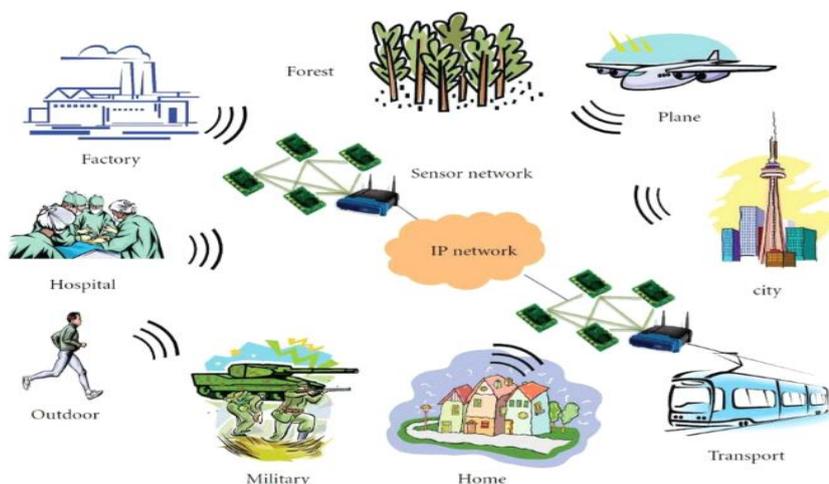


Figure II.10 : Quelques domaines d'application pour les RCSFs [23].

II.4.5.1 Applications militaires :

Le domaine militaire a été une motivation majeure pour le développement de réseaux de capteurs en raison des différents avantages apportés par ces réseaux :

autorégulation, tolérance aux fautes, faible coût des équipements, étendue sur une vaste zone, ce qui le rend très utile dans le domaine militaire et permet de surveiller tous les mouvements de l'ennemi et d'analyser le terrain et les mines.



Figure II.11 : Les RCSF dans le domaine militaire

II.4 .5 .2 Applications dans l'environnement :

Les réseaux des capteurs peuvent être utilisés dans les champs agricoles, sur les sites industriels, dans les centrales nucléaires, dans les champs pétroliers, dans les forêts ou pour la surveillance de l'environnement marin [20], par exemple, le déploiement de capteurs de température peut aider, dans la forêt, à la découverte d'un potentiel début d'incendie ou le déploiement de capteurs chimiques en milieu urbain peut aider à la détection de la pollution et à l'analyse de la qualité de l'air [21].



Figure II.12: Utilisation des capteurs météo dans l'agriculture avec RCSF [21].

II.4 .5 .3 Applications dans le domaine médical

Le domaine de la médecine est devenu plus sophistiqué grâce aux capteurs sensibles qui peuvent maintenant être avalés ou implantés sous la peau, permettant ainsi une surveillance continue des patients et la possibilité de collecter des informations et

des caractéristiques physiologiques, facilitant ainsi le diagnostic de certaines maladies [20].

Les capsules de capture ont permis de surveiller de l'intérieur les fonctions vitales des êtres humains et de réaliser une imagerie sans recourir à la chirurgie.

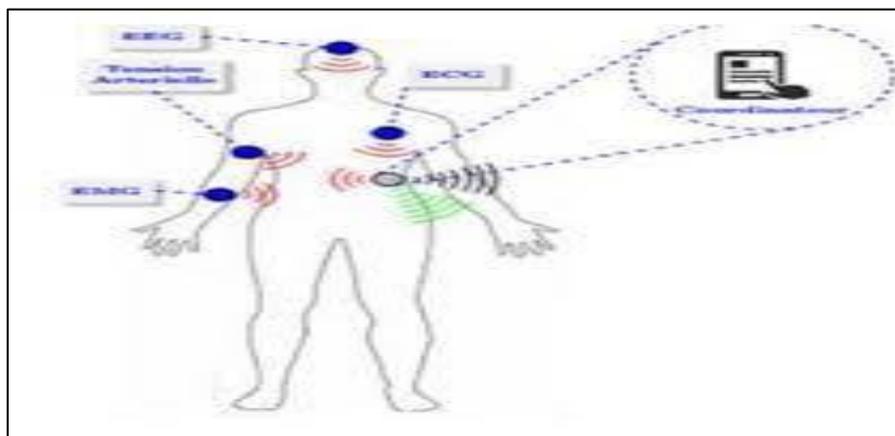


Figure II.13: Les RCSF dans le domaine médical [20].

II.4 .5.4 Application à la surveillance :

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de sécurité peut diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et des êtres humains. Ainsi, l'intégration des capteurs dans de grandes structures telles que les ponts ou les bâtiments aidera à détecter les fissures et les altérations dans la structure suite à un séisme ou au vieillissement de la structure. Le déploiement d'un réseau de capteurs de mouvement peut constituer un système d'alarme qui servira à détecter les intrusions dans une zone de surveillance sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo [22].



Figure II.14 : la surveillance des bâtiments avec les RCSF [22].

II.4 .5 .5 La domotique :

Les déploiements des capteurs de mouvement et de température dans les futures maisons dites intelligentes permet d'automatiser plusieurs opérations domestiques telles que : la lumière qui s'éteint et la musique qui se met en état d'arrêt quand la chambre est vide, la climatisation et le chauffage s'ajustent selon les points multiples de mesure, le déclenchement d'une alarme par le capteur anti-intrusion quand un intrus veut accéder à la maison [22].

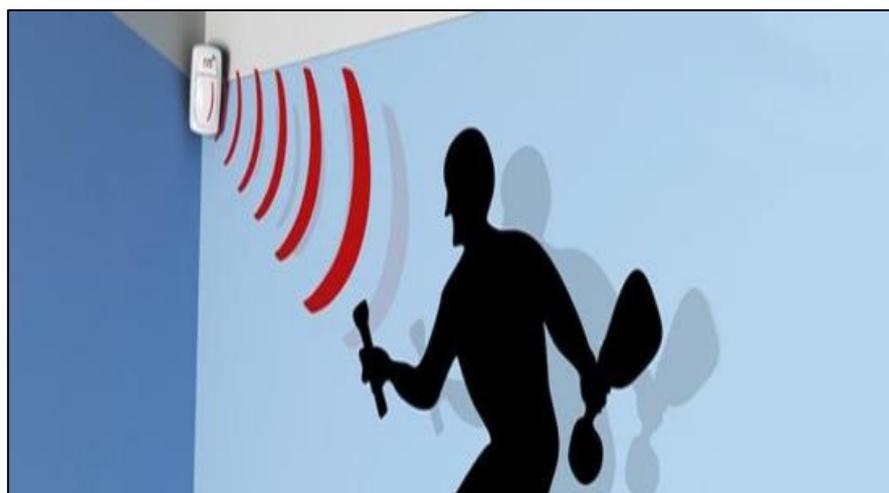


Figure II.15 : Utilisation des capteurs d'anti-intrusion avec RCSF [22].

II.4 .5 .6 Applications dans le domaine sportif :

L'évolution des réseaux de capteurs est utilisée de plus en plus dans le domaine sportif, à savoir les systèmes de surveillance, les systèmes de calcul de trajectoires (comme dans le tennis), systèmes de détection d'erreurs d'arbitrage (comme dans le football indiquent si le balle a franchi la ligne de but) [22].



Figure II.17: Capteurs utilisés dans le domaine sportif [22].

II.4 .6 Facteurs de conceptions d'un RCSF :

Il existe de nombreux facteurs et limites dans la conception du RCSF.

II.4 .6.1 Tolérances aux pannes :

La tolérance aux pannes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau de capteurs sans interruption en dépit de l'apparition de pannes des nœuds capteurs provoquées par une défaillance ou un blocage des nœuds qui peut être engendré par plusieurs causes, notamment l'épuisement d'énergie, l'endommagement physique ou les interférences liées à l'environnement.

II.4 .6.2 Coûts de productions :

Le coût d'un seul nœud capteur influence largement le coût global du réseau et les réseaux de capteurs sans fils consistent en un nombre important de nœuds. Le coût de chaque nœud capteur doit donc être réduit pour que l'utilisation de cette nouvelle technologie soit fin ancièremment justifiée.

II.4 .6.3 Environnement:

Les nœuds capteurs doivent pouvoir travailler sans surveillance dans des zones géographiquement éloignées et inaccessibles quel que soit les déférences conditions d'environnement (l'intérieur de grosses machines, au fond d'un océan, dans un champ

contaminé biologiquement ou chimiquement, sur un champ de bataille ou dans une maison).

II.4 .6.4 Support de transmission :

La communication entre les nœuds est normalement mise en œuvre en utilisant une communication radio sur les bandes ISM populaires. Cependant, certains RCSFs utilisent une communication optique ou infrarouge. Cette dernière ayant l'avantage d'être robuste et consomme moins d'énergie.

II.4 .6.5 Consommation d'énergie :

La taille des nœuds limite la taille de la batterie. En effet, la recharge des sources d'énergie est souvent coûteuse et parfois impossible. Ainsi, la Durée de vie d'un nœud capteur est fortement liée à celle de la batterie. Par conséquent, la conception logicielle et matérielle doit prendre en compte les problèmes d'utilisation efficace de l'énergie car le dysfonctionnement d'un nœud implique des modifications Topologiques et peut nécessiter le réacheminement des paquets et la réorganisation du réseau.

II.4 .7 Comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil classiques :

Le tableau II.2 illustre une comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil classiques. Cette comparaison s'appuie sur cinq critères : le nombre de nœuds, l'importance de consommation d'énergie, l'importance de la QoS, l'identification des nœuds et les types de communication.

	RCSF	Réseau WLAN	Réseau cellulaire	Réseau WPAN
Nombre de nœuds	Très élevé.	Diminué	Elevée	1 nœud maître avec 7 nœuds esclaves (Cas de Bluetooth)
L'importance de la consommation d'énergie	Très élevé.	Diminué du fait que les nœuds peuvent être	Diminué du fait que les nœuds peuvent être rechargés facilement.	Diminué

		rechargés facilement.		
Importance de la qualité de service	Diminué	Elevée	Elevée	Elevée
Du nœud maître vers le nœud esclave.	Dépend de l'application (généralement pas de mécanismes d'identification pour éviter l'overhead)	Existe	Existe	Existe
Type de communication	broadcasta, multicast, Convergecast..	Point à point	Du mobile vers la station de base et vice versa.	Du nœud maître vers le nœud esclave.

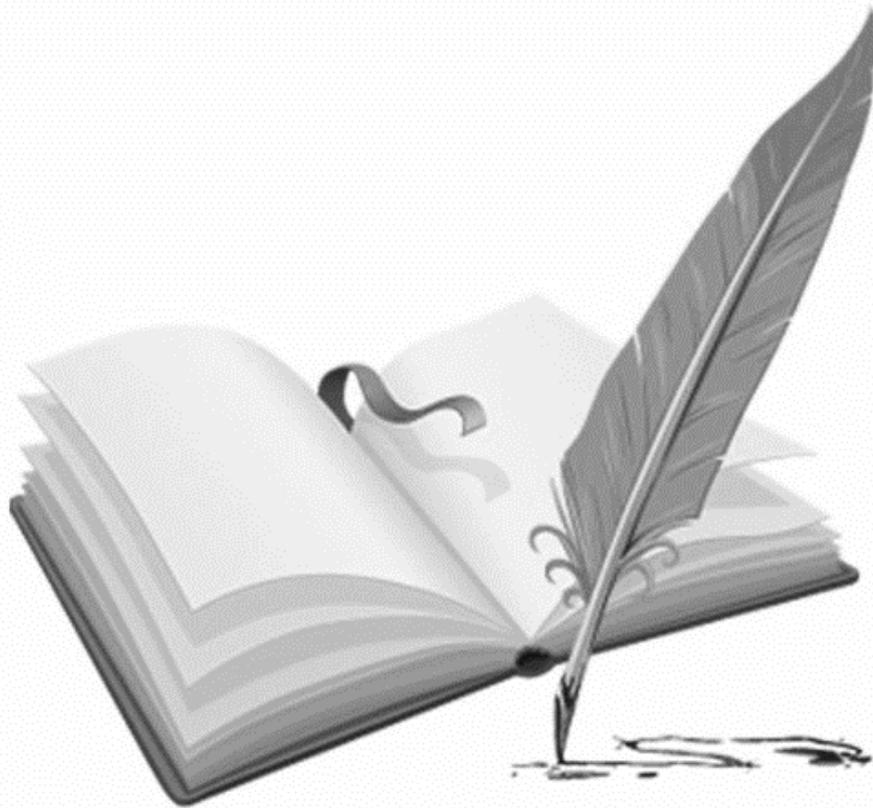
Tableau II.2 : Comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil.

II.5 Conclusion :

Les réseaux des capteurs sans fil (RCSF) représentent une technologie émergente qui vise à offrir des capacités innovantes. Leur utilisation ne devrait cesser d'augmenter et ceci dans de nombreux domaines qu'ils soient scientifiques, logistiques, militaires ou encore sanitaires.

Dans ce chapitre, nous avons abordé des généralités sur les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, leur pile protocolaire, leur types, leurs classifications, leurs caractéristiques et leurs domaines d'applications.

Chapitre III
Les Protocoles de Routage Des
RCSF



III .1 Introduction :

Le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau de connexion donné. Le problème de routage consiste à déterminer un acheminement optimal des paquets à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance. Les protocoles de routage au sein des RCSF sont influencés par un facteur déterminant à savoir : la minimisation de la consommation d'énergie sans une perte considérable de l'efficacité.

Dans les réseaux de capteurs, chaque nœud joue le rôle de source et de relais. De ce fait, la défaillance énergétique d'un capteur peut changer significativement la topologie du réseau et imposer une réorganisation coûteuse de ce dernier.

Dans ce chapitre ont représenté les protocoles de routage des RCSF.

III .2 Modèle OSI :

Le modèle OSI est basé sur une proposition de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) Standardiser les protocoles utilisés à différents niveaux. Le modèle est Révisé en 1995, maintenant connu sous le nom d'ISO OSI. OSI signifie Open Systèmes interconnexions.

Il n'est pas une architecture réseau car on ne spécifie pas exactement les services et les protocoles utilisés dans les différentes couches [25].

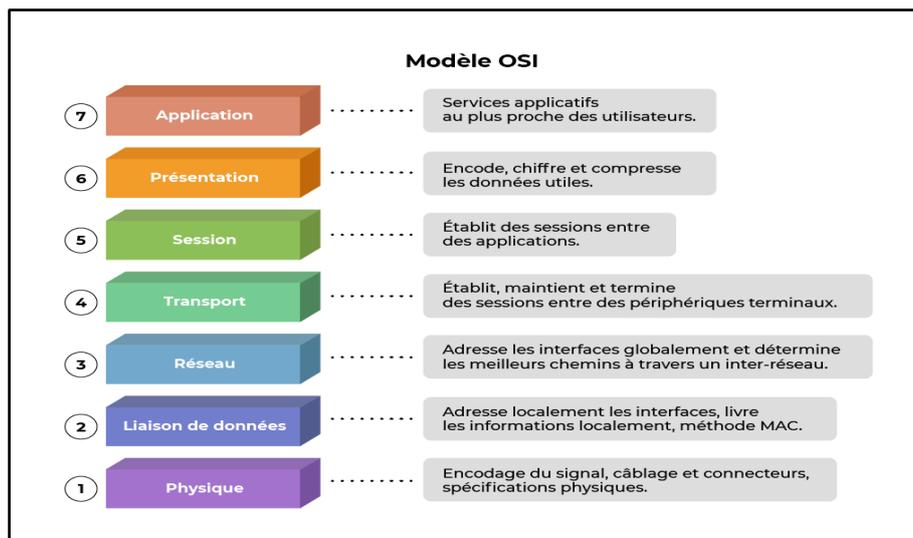


Figure III.1 : Le modèle OSI [25].

III .2 .1 Les différentes couches :

Les couches 1 à 3 sont des couches chaînées. Les couches 4 à 7 sont des couches de bout en bout.

- **La couche Physique (Physical layer) :**

La couche physique (L1) ne transmet que des bits. Elle a été conçue pour interagir directement avec la partie électrique/mécanique et le moyen de transmission physique (physical transmission medium) qui est présent directement en cette couche [25].

- **La couche liaison de Données (Data Link layer) :**

La couche de liaison de données (L2) transforme une transmission brute en une ligne sans erreurs de transmission jusqu'à la couche réseau (L3). Pour cela les données brutes sont découpées en trames (Frames en anglais) comprises entre 100 et 1000 octets. Puis elles sont envoyées de manière séquentielles [25].

- **La couche Réseau (Network layer) :**

La couche réseau est en charge des opérations du sous-réseau. C'est ici que va se dérouler le routage des paquets : quelles routes vont emprunter les paquets pour aller de la source à la destination et surtout par quel chemin. C'est également dans cette couche que la Qualité de Service (QoS) est gérée [25].

- **La couche Transport (Transport layer) :**

Le but principal de la couche de transport est de prendre en charge les données qui viennent des couches supérieures, de les découper en plus petits morceaux puis de les faire transiter jusqu'à la couche réseau (L3).

La couche de transport détermine également le type de services qu'il faudra pour la couche Session. Le type de transport de connexion le plus classique est l'envoi des messages ou des octets dans le sens d'envoi. La couche de transport de la source, à la différence des couches inférieures, communique directement avec la couche de transport de la machine de destination. Dans les couches inférieures (1 à 3), des protocoles font la liaison entre les machines et leurs voisins immédiats [25].

- **La couche Session (Session layer) :**

La principale fonction de cette couche est de permettre d'établir des sessions entre les utilisateurs de machines différentes. C'est dans ce niveau sont gérés ainsi que la synchronisation. En effet la synchronisation permet de reprendre où la session s'était arrêtée en cas de crash... [25].

- **La couche Présentation (Presentation layer) :**

La différence des autres niveaux, la couche de présentation ne touche qu'à la sémantique et la syntaxe des informations transmises. Ce ne sont plus des bits qui sont manipulés. Ce sont avant tout des représentations de données qui sont communiqués [25].

- **La couche Application (Application layer) :**

Dans cette couche que vous retrouverez la plupart des protocoles utilisés par les utilisateurs. On peut citer notamment le protocole HTTP lors de l'accès à une page web, le protocole SMTP pour les mails, le FTP pour le transfert de fichiers.... [25].

III .3 Routage dans les réseaux de capteurs :

Le routage est l'élément primordial d'un réseau Ad hoc. Il faut un logiciel de routage dans chaque nœud du réseau pour gérer le transfert des paquets le cas classique du routage dans un réseau Ad hoc consiste à transiter par des nœuds intermédiaires. Ces derniers doivent posséder une table de routage apte à diriger le paquet vers le destinataire.

Toute la stratégie d'un réseau Ad hoc consiste à optimiser les tables de routage par des mises à jour plus ou moins régulières. Si les mises à jour sont trop régulières, cela risque de sur charger le réseau.

Cette solution présente toutefois l'avantage de maintenir des tables à jour et donc de permettre un routage rapide des paquets. Une mise à jour uniquement lors

de l'arrivée nouveau flot restreint la charge circulant dans le réseau mais décharge le réseau de nombreux flots de supervision.

Il faut arriver dans ce cas à mettre en place des tables de routage susceptible d'effectuer l'acheminement dans des temps acceptables [24].

III.3.1 Classification des réseaux de capteurs :

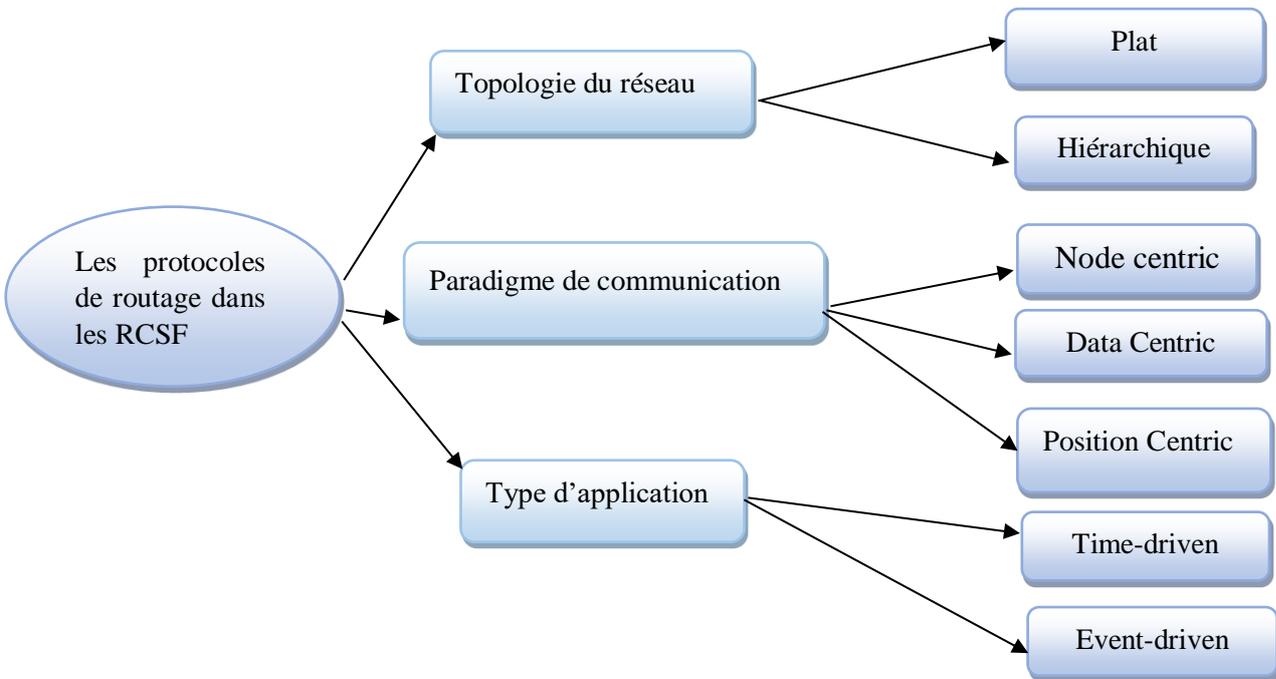


Figure III.2: Classification des protocoles de routage dans les RCSF

III.3.1.1 Classification selon la topologie du réseau :

La topologie détermine l'organisation des capteurs dans le réseau. Globalement, il existe trois topologies dans les RCSF [24]:

La topologie plate et la topologie hiérarchique et topologie basée localisation.

Comme on le distingue sur la figure III.3

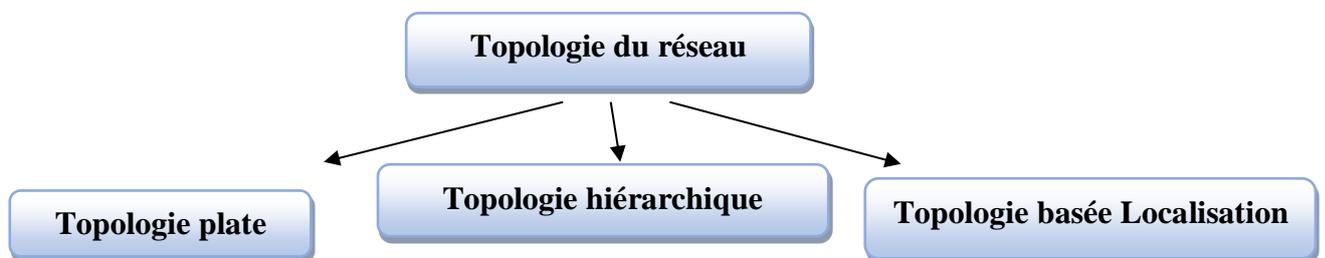


Figure III.3 : Les topologies d'un réseau.

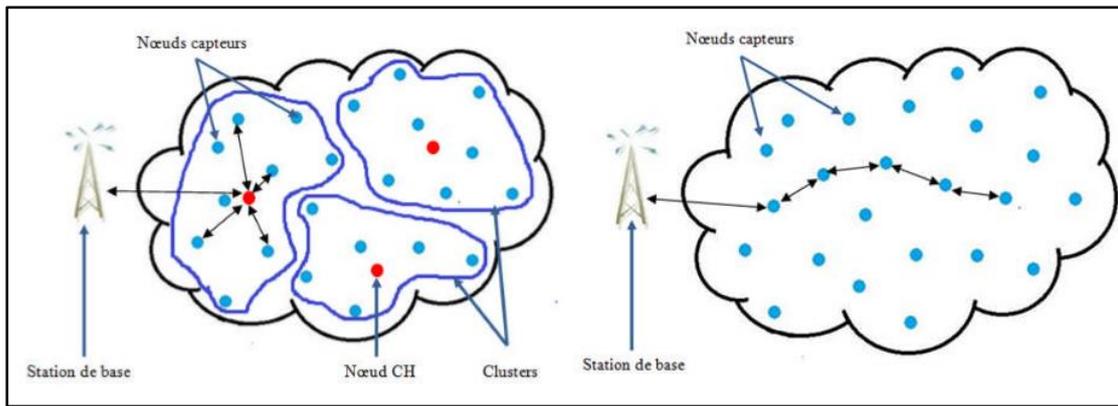


Figure III.4 : Topologie plate à droite et clustérisé à gauche d'un RCSF

- **Topologie plate :**

Les protocoles à topologie plate (flat) considèrent que tous les nœuds sont semblables en termes de ressources et ils possèdent tous le même rôle excepté le nœud « station de base » qui est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds Capteurs afin de les transmettre vers les centres de traitement [27].

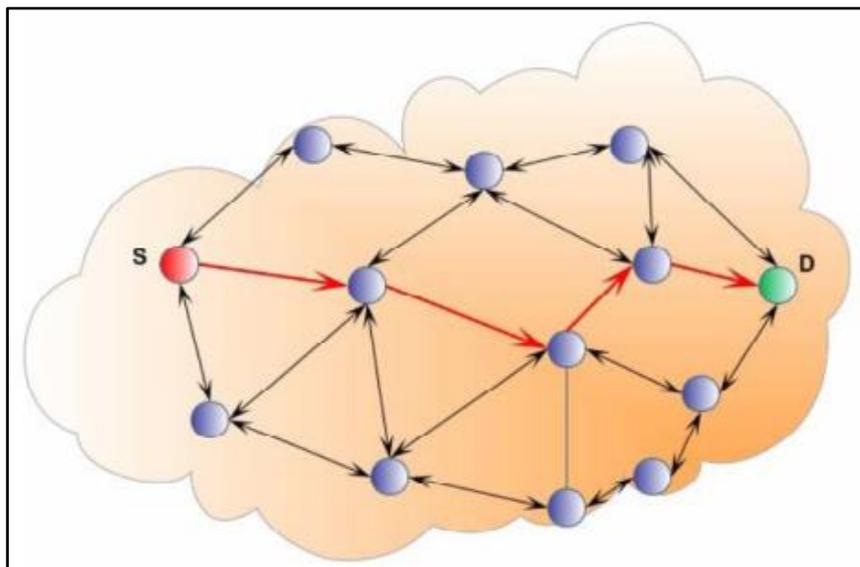


Figure III.5 : Topologie plate [27].

- **Topologie hiérarchique :**

Le routage hiérarchique est considéré comme l'approche la plus favorable en matière d'efficacité énergétique. La topologie hiérarchique divise les nœuds en paliers de responsabilité. L'une des méthodes les plus communes est l'encombrement, où le

réseau est divisé en groupes connus sous le nom de "clusters". Un cluster est constitué d'un chef (cluster-head) et de ses membres [27].

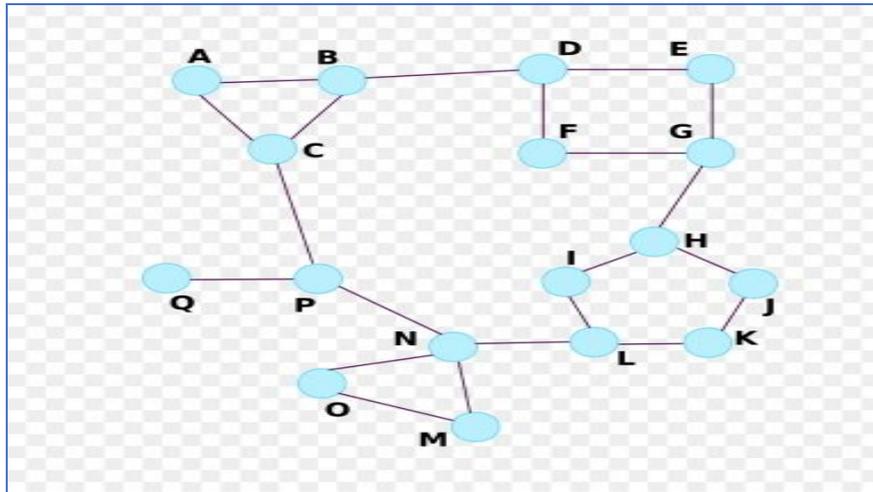


Figure III.6 : Topologie hiérarchique [27].

- **Topologie basée sur la Localisation :**

Ce type de topologie est mieux adapté aux réseaux avec une forte mobilité. Elle est utilisée dans les applications où il est plus intéressant d'interroger le système basé sur.

La localisation des nœuds et où on peut tirer profit des positions des nœuds pour prendre des décisions qui minimisent le nombre de messages transmis pendant le routage. Avant d'envoyer ses données à un nœud cible, le nœud source utilise un procès. Pour décider de son emplacement [27].

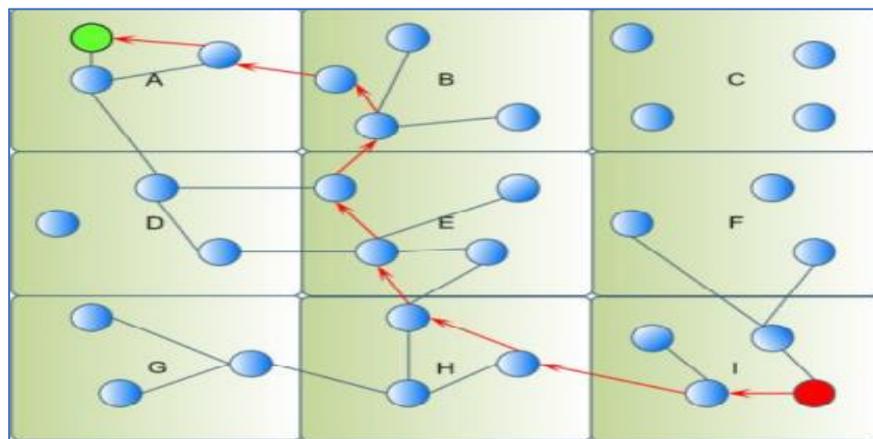


Figure III.7 : Topologie basée Localisation [27].

III.3.1.2 Classification selon les paradigmes de communication :

Le paradigme de communication détermine la manière dont les nœuds sont interrogés. Dans le RCSF, il existe trois paradigmes de communication [27].

- **Routage centré nœud (Node centric) :** Ce paradigme est celui employé dans les réseaux conventionnels, où les communications se basent sur l'identification des nœuds participants à l'aide d'adresses IP [27].

- **Routage Centré données (Data centric) :** Dans ce paradigme, les communicants sont identifiés par leurs données. Ainsi, le système peut être vu comme une base de données distribuée, où les nœuds forment des tables virtuelles, alimentées par les données captées [27].

- **Routage centré position (Position centric) :** Dans ce paradigme, le système est interrogé en utilisant la position des nœuds. Dans ce cas le routage s'effectue grâce à des techniques géométriques afin d'acheminer l'information d'une zone géographique vers une autre [27].

III.3.1.3 Classification selon le type d'application:

Il existe trois modèles de transmission de données.

- **Orienté-temps (Time-drive):** Un réseau guidé par le temps est adapté aux applications qui nécessitent une collecte de données périodique.

Par exemple, cela est utile pour surveiller les applications (feu, conditions météorologiques) afin d'établir des rapports périodiques [27].

- **Orienté-événements (Event-driven):** Pour les applications en temps réel, les capteurs doivent réagir immédiatement aux changements soudains dans les valeurs saisies.

Dans ce cas, le protocole de routage doit être sensible et doit fournir des réponses rapides à la survenue d'un certain nombre d'événements [27].

- **Orienté-requêtes (Request driven) :** Dans ce cas, un capteur envoie de l'information uniquement suite à une demande explicite de la station de base. Cette classe d'application est destinée aux applications adaptées à l'utilisateur.

III .4 Les types des protocoles de routage des RCSF :

Selon la façon dont les chemins sont créés et conservés durant le routage, il existe trois catégories de protocoles de routage : proactif, réactif ou hybride.

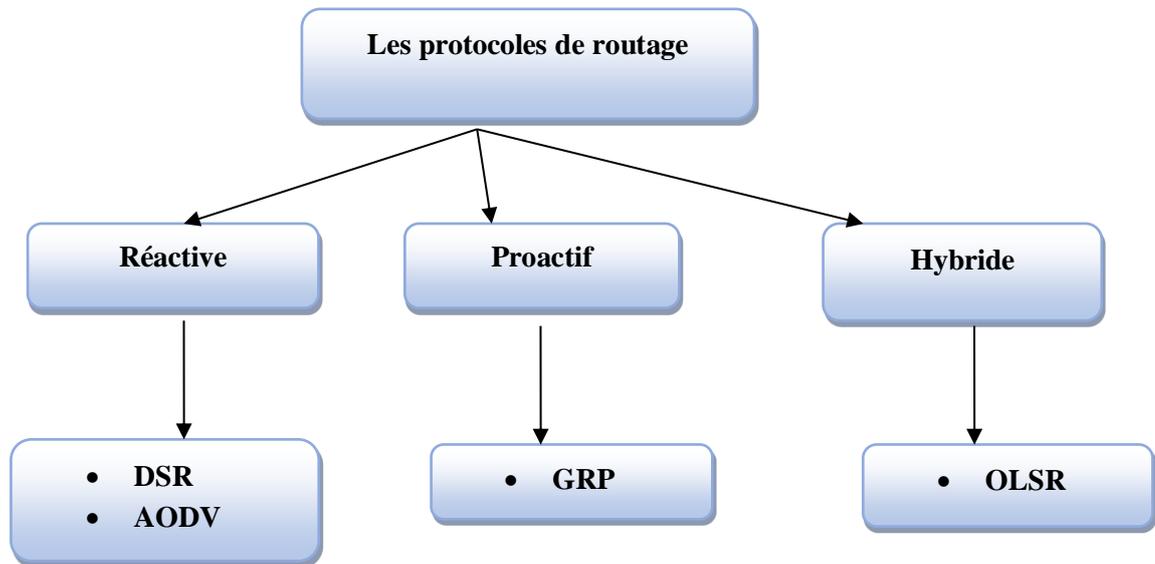


Figure III.8 : Les protocoles de routage.

- **Protocole proactif** : Dans cette catégorie appelée diffusion de table, les protocoles de routage tiennent une table de routage dans chaque nœud.

Chaque fois que la topologie du réseau change, des messages d'actualisation sont envoyés aux nœuds.

Les protocoles proactifs sont adaptés aux applications qui requièrent une collecte régulière de données. Les capteurs peuvent donc être mis en veille pendant les périodes d'inactivité et n'engager leur dispositif de capture qu'à des moments précis [27].

- **Protocole réactif** : Les protocoles de routage de cette catégorie reposent sur la découverte et l'entretien des itinéraires. Suite à un besoin, un nœud lance une procédure de découverte de route en diffusant un paquet de contrôle (Route Request) dans le réseau à la recherche d'une route vers le destinataire, ce processus (Route Request) s'arrête une fois la route trouvée ou toute les possibilités sont examinées. Dès que la communication est établie, cette route est maintenue jusqu'à ce que la destination devienne inaccessible ou jusqu'à ce que la route ne soit plus désirée. Ce type de protocoles est pratique pour les applications en temps réel où les capteurs doivent réagir dans l'espace à des changements soudains des valeurs saisies [27].

- **Protocole hybride** : Les protocoles hybrides associent les deux concepts de protocoles proactifs aux protocoles réactifs. Ils utilisent un protocole proactif pour obtenir des informations à propos des voisins les plus proches (voisins maximum avec deux sauts) [27].

Au-delà de cette zone prédéfinie, le protocole hybride fait appel à des techniques de protocole réactif pour rechercher des routes [27].

III .5 Les protocoles de routage dans MANET :

III .5.1 DSR - Routage source dynamique (DSR) :

DSR est un protocole de routage réactif qui découvre et maintient les routes entre les nœuds. Dans la découverte de l'itinéraire, Le DSR inonde le paquet de demande de routage sur le réseau.

Chaque nœud qui reçoit ce paquet, y ajoute d'abord son adresse puis transmet le paquet au nœud suivant. Lorsque le nœud ciblé ou un nœud qui a une route vers la destination reçoit la demande de route, il renvoie une réponse de route à l'expéditeur et une route est établie. Chaque fois qu'un paquet suit une route établie, chaque nœud doit s'assurer que le lien est fiable entre lui et le nœud suivant.

Dans la maintenance de la Route, DSR prévoit trois étapes successives : acquittement de la couche liaison, acquittement et de la couche réseau. Lorsqu'une route est interrompue et qu'un nœud détecte l'échec, il envoie un paquet Route Error à l'expéditeur d'origine [24].

III .5.2 Routage de vecteur de distance à la demande ad hoc (AODV) :

AODV fournit une découverte d'itinéraire à la demande dans MANET. Chaque fois que les nœuds doivent envoyer des données à la destination, si le nœud source n'a pas d'informations de routage dans sa table, le processus de découverte de route commence à trouver les itinéraires de la source à la destination [24].

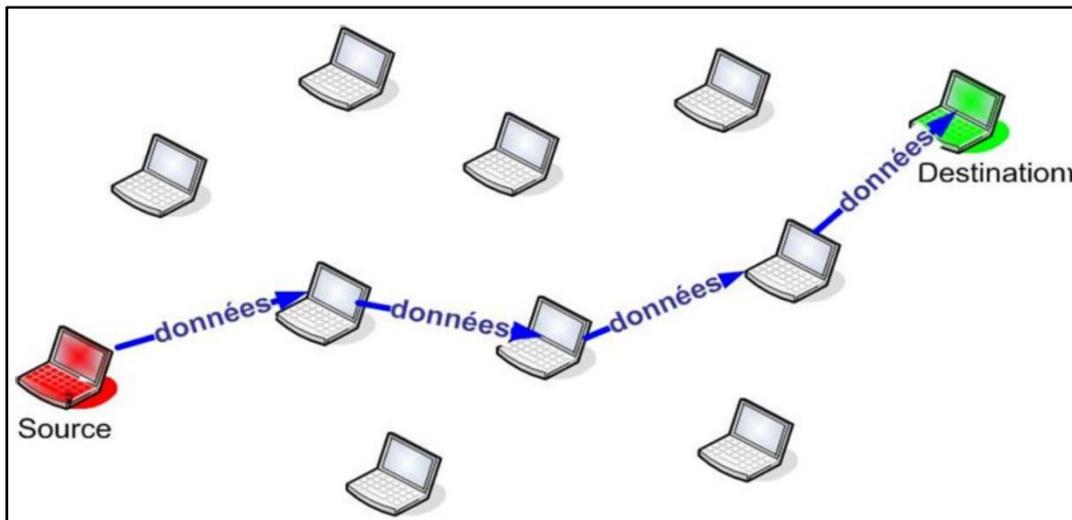


Figure III.9 : Le protocole AODV [24].

La découverte d'itinéraire commence par la diffusion d'une demande d'itinéraire (RREQ) paquet par le nœud source à ses voisins. Le paquet RREQ comprend un ID de diffusion, deux numéros de séquence, l'adressent de la source et de la destination et le nombre de sauts.

Les nœuds intermédiaires qui reçoivent le paquet RREQ pourrait faire deux étapes : si ce n'est pas le nœud de destination, il rediffusera le paquet RREQ à ses voisins. Sinon, ce sera le nœud de destination, puis il enverra un message de relecture unicast, relecture de route (RREP), directement à la source à partir de laquelle il a été reçu le paquet RREQ [24].

Un RREQ copié sera ignoré Chaque nœud a un numéro de séquence. Lorsqu'un nœud veut initier le processus de découverte de route, il inclut son numéro de séquence et le numéro de séquence le plus récent dont il dispose pour la destination.

Le nœud intermédiaire qui reçoit le paquet RREQ, relire le paquet RREQ uniquement lorsque le numéro de séquence de son chemin est supérieur ou identique au numéro de séquence compris dans le paquet RREQ. Un chemin inverse du nœud intermédiaire à la source forme avec le stockage de l'adresse du nœud à partir de laquelle la copie initiale de RREQ [24].

Il existe une valeur de durée de vie associée pour chaque entrée dans la table de routage. Supposons que certaines routes ne soient pas appliquées pendant leur durée de vie, ces routes ont donc expiré et doivent être supprimées de la table. Mais si les routes

sont utilisées, la durée de vie est mise à jour afin que ces routes n'arrivent pas à expiration. Lorsqu'un nœud source veut envoyer des données vers une destination, il recherche d'abord la table de routage ; s'il peut le trouver, il l'utilisera. Sinon, il doit commencer une découverte de route pour trouver une route. Il s'agit également d'un message d'erreur de routage (RERR) utilisé pour notifier les autres nœuds sur certaines défaillances dans d'autres nœuds ou liens [24].

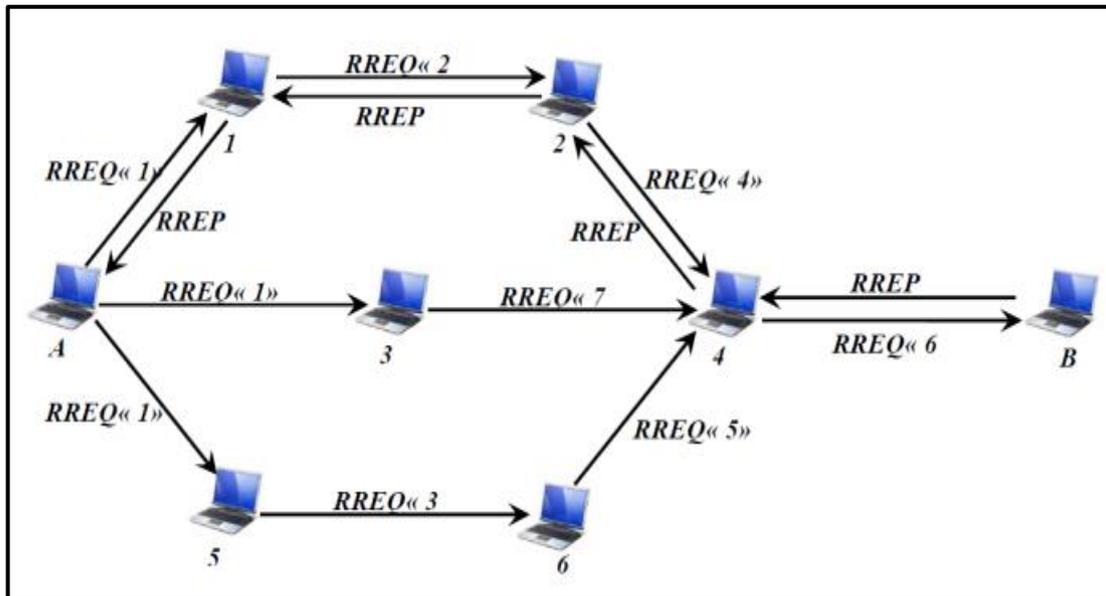


Figure III.10: Etablissement d'une route sous AODV [24].

III .5.3 Routage optimisé de l'état des liens (OLSR) :

OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) est un protocole de routage proactif à l'échelle IP sur les réseaux mobiles.

Ce protocole est défini dans la RFC 3626 de l'IETF. Comme son nom l'indique qu'il s'agit d'un protocole d'état de liaison optimisé. L'OLSR a pour but d'optimiser la distribution de paquets de données dans le réseau [24].

Un mobile est un voisin d'un saut et uniquement des relais. Multipoints de ce mobile diffuseront les informations émises par relais [24].

Pour que tous les voisins, deux sauts loin de ce mobile reçoivent l'information qu'il envoie [24].

Par exemple sur la figure suivante les relais mobiles A et B peuvent être multipoints central : les mobiles à un saut du mobile central sont les mobiles dans les cercles bleus alors que deux-sauts mobiles sont des mobiles en cadre noir; l'ensemble se

compose d'A et B est relié à tous les mobiles à deux sauts du mobile central, c'est donc un ensemble de relais multipoints du mobile central.

Donc, si A et B relaient les informations transmises par le central mobile, tous les voisins vont recevoir cette information [24].

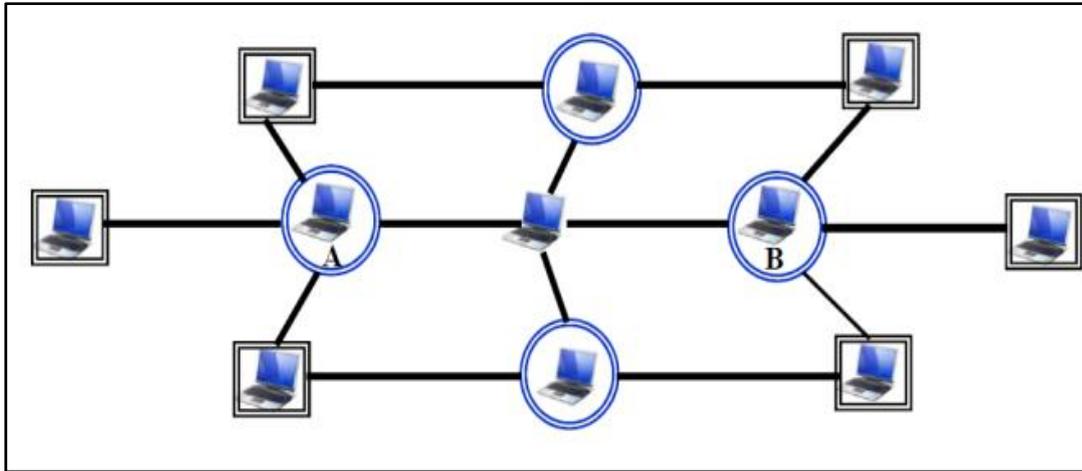


Figure III.11: Relais multipoints [24].

III .5.4 Protocole de routage basé sur la collecte (GRP):

Cette approche est largement connue sous le nom de protocole de routage hybride, car elle peut utiliser simultanément les points forts des protocoles de routage réactif et de routage proactif. Un paquet nommé DQ est utilisé en permanence pour transmettre aux voisins de chaque nœud jusqu'à ce que la destination soit atteinte. Lorsqu'il atteint la destination.

Le nœud diffuse un paquet de collecte d'informations réseau (NIG) à ses voisins. Le nœud source calcule le meilleur itinéraire en fonction des informations collectées, puis commence immédiatement à transmettre des paquets de données [28].

III.6 Comparaison entre les protocoles proactifs et réactifs

On peut difficilement comparer des protocoles proactifs et réactifs. Généralement les protocoles réactifs sont meilleur marché en termes de signalisation et d'énergie, car ils construisent des routes seulement quand ils en ont besoin. Par contre l'établissement d'un chemin est beaucoup plus rapide avec des protocoles proactifs puisque les mobiles disposent de l'information de routage en temps réel. Les analyses de performance sur ces différents protocoles indiquent notamment.

Que les protocoles proactifs comme OLSR sont efficaces dans le cadre des réseaux denses avec relativement grande mobilité, alors que des protocoles réactifs comme DSR sont plus efficaces sur les réseaux creux avec mobilité réduite.

Le tableau suivant montre une comparaison entre les protocoles réactifs et proactifs [24]

Proactifs	Réactifs
maintiennent toujours les routes	un surcoût minimal parce que les routes ne sont déterminées qu'à la demande
peu ou pas de délai pour déterminer une route	un délai important lors de la détermination d'une route
consomme de la bande passante pour maintenir à jour les routes	emploie des systèmes d'inondations (flooding) pour réaliser une recherche globale
maintiennent des routes qui peuvent ne jamais servir	le contrôle des échanges peut être difficile

Tableau III.1 : Comparaison entre les protocoles proactifs et réactifs [24].

III.6.1 Spécificités des protocoles OLSR / AODV :

Le tableau III.2 donne les résultats de comparaison d'un protocole de routage proactif, qui est OLSR et un protocole de routage réactif, qui est AODV

	AODV	OLSR
Sans boucle	Oui	Oui
Plusieurs routes possibles	Non	Non
Distribué	Oui	Oui
Type	Oui	Oui
Sécurité	Non	Non
Messages de contrôles périodiques	Non	Oui
Liens unidirectionnels	Non	Oui
Multicast	Oui	oui

Tableau III.2 : Spécificités des protocoles OLSR / AODV [24].

III.6.2 Synthèse de comparaison OLSR / AODV :

AODV est utile pour des connections spontanées sur des réseaux citoyens. On n'a pas besoin de connaître la topologie du réseau. En revanche, son gros point faible est son temps de latence. En effet, la découverte des routes induit un temps de latence important. Le point faible d'OLSR est le plus important qu'AODV.

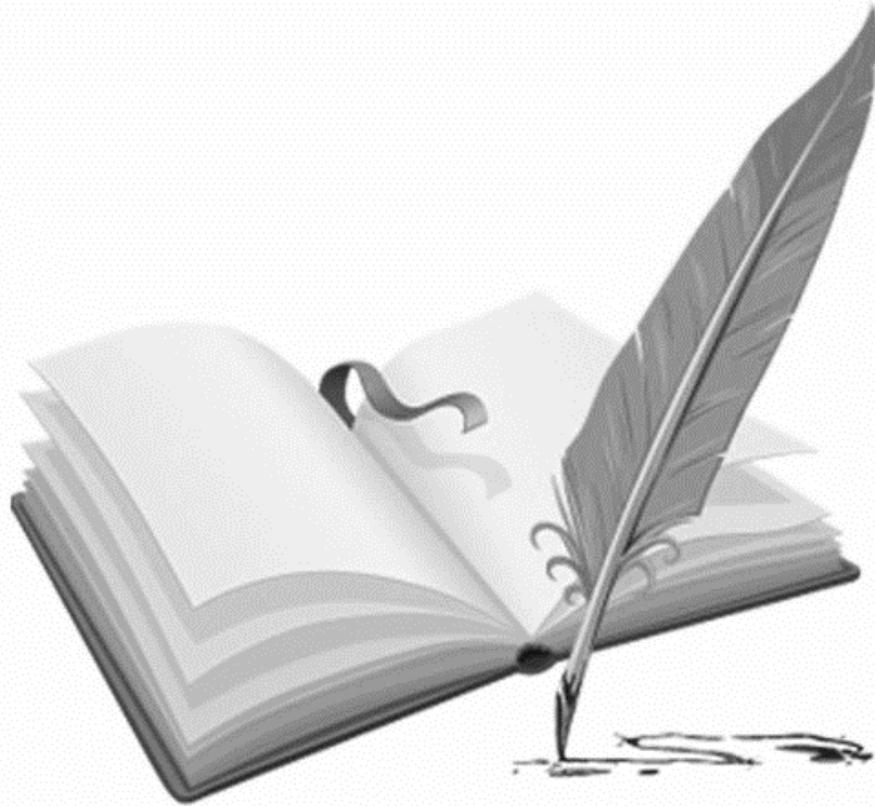
En revanche, sa connaissance totale de la topologie lui permet d'avoir un temps de latence beaucoup faible. De plus, OLSR a l'avantage d'être implémenté sur différentes plateformes (Windows, Linux, MacOS, etc.) [24].

III. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit les protocoles de routage les plus communs dans le réseau MANET qui sont AODV et DSR (réactive), OLSR (proactive) et GRP (hybride). Il est important de conclure qu'aucun des protocoles élaborés n'a tous les avantages et les performances ultimes. Le choix d'un protocole de routage sera fortement conditionné par les applications que l'on cherche à mettre en œuvre et le type de réseau utilisé.

Chapitre IV

Simulation des Réseaux des capteurs sans fil sur opnet



IV.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à la simulation de réseaux de capteurs sans fil. L'objectif du projet à l'issue de cette recherche est de simuler et d'évaluer les performances des protocoles de routage des réseaux de capteurs sans fil à l'aide du logiciel OPNET Modeler, en utilisant les principales interfaces et bibliothèques de modèles (standard, matériel, protocole et application modèles) mis en œuvre dans OPNET.

Dans ce travail, une conception et une mise en œuvre d'une maison intelligente ont été aussi introduites à l'aide des technologies IoT et de réseaux de capteurs sans fil en utilisant le logiciel Packet Tracer.

IV.2 Outils de simulation :

Dans cette section, nous présentons un aperçu général sur les logiciels de simulation OPNET Modeler et PACKET TRACER que nous sommes servis pour réaliser notre travail.

IV.2.1 Présentation et utilisation d'OPNET :

OPNET (Optimal Network Performance) est un logiciel très puissant pour la série de Des simulations de réseaux pour différents publics tels que les entreprises, les opérateurs et les Rechercher.

OPNET est la version académique de cette famille, permet d'Étudier et simuler les réseaux de télécommunications. La modélisation OPNET est basée sur le fait qu'OPNET est l'un Le des meilleurs logiciels de simulation des réseaux existant sur le marché.

L'environnement OPNET permet la modélisation et la simulation de réseaux Grâce à sa bibliothèque de modèles (routeurs, commutateurs, postes de travail, serveur) et protocoles (TCP/IP, FTP, FDDI, Ethernet, ATM, etc.).

IV.2.1.1 Modèles utilisés :

Les modèles OPNET utilisés dans ce projet (Réseaux de capteur sans fil MANET) sont répertoriés dans le tableau IV.1.

Wlan Wkstn	Server	Application Config	Profile Config	Mobility Config	Rx Group config
					

Tableau IV.1: Les modelés OPNET utilisés au Réseaux de capteur sans fil.

IV.2.1.2 Éditeur de projet (Project Editor) :

C'est l'interface principale du logiciel. Elle permet d'implanter des modèles issus des Bibliothèques OPNET ainsi que des modèles créés par l'utilisateur. C'est aussi à partir du Project Editor que les simulations peuvent être configurées puis lancées et que les résultats issus de ces simulations peuvent être affichés. Les principales fonctions de cette interface sont disponibles sous formes d'icônes [1].

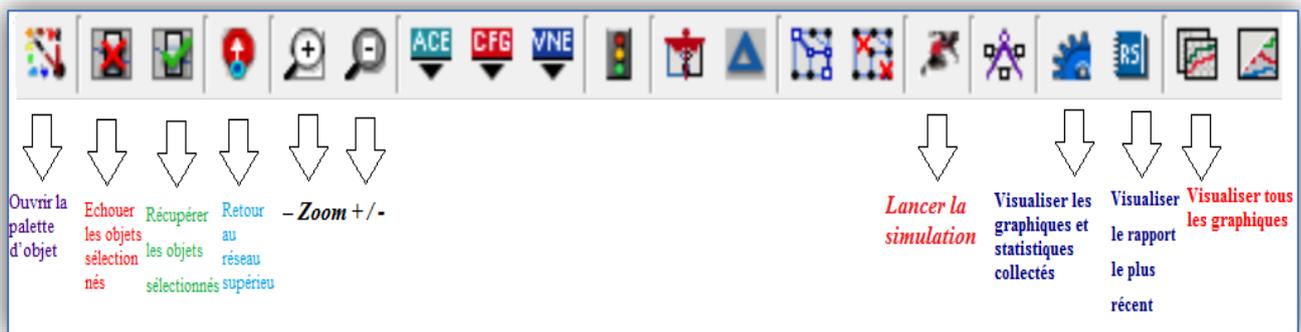


Figure IV.1 : éditeur de projet

IV.2.1.3 Éditeur de modèle de nœud (Node Model Editor) :

Cet éditeur permet d'afficher une représentation modulaire d'un élément de la bibliothèque ou d'un élément créé par l'utilisateur. Chaque module envoie et reçoit des

paquets vers d'autres modules. Les modules représentent des applications, des couches protocolaires ou des ressources Physiques.

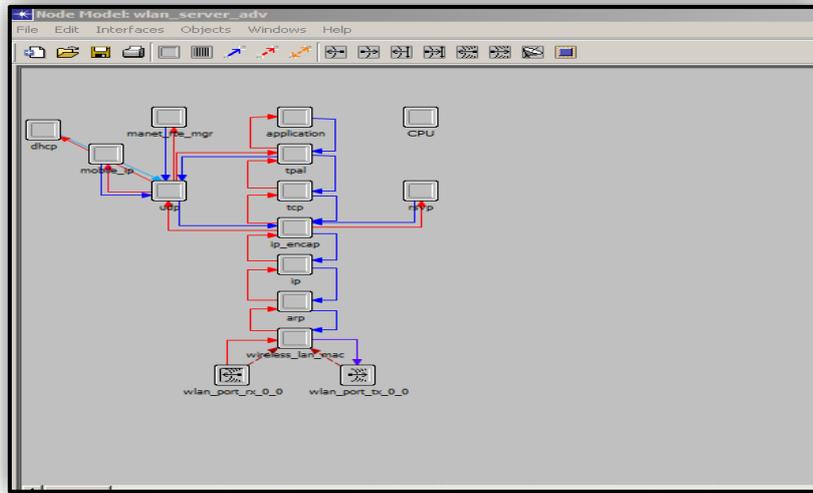


Figure IV.2: Node Model Editor

IV. 2.2 Présentation de l’outil de simulation PACKET TRACER :

Packet Tracer est un logiciel de CISCO permettant de construire un réseau physique virtuel et de simuler le comportement des protocoles réseaux sur ce réseau. L'utilisateur construit son réseau à l'aide d'équipements tels que les routeurs, les commutateurs ou des ordinateurs. Ces équipements doivent ensuite être reliés via des connexions (câbles divers, fibre optique). Une fois l'ensemble des équipements reliés, il est possible pour chacun d'entre eux, de configurer les adresses IP, les services disponibles, etc. . . .

IV.2.2.1 Modèles utilisés (PACKET TRACER) :

Les modèles PACKET TRACER utilisés dans ce projet (Réseau des capteurs sans fil) sont répertoriés dans le tableau IV.2.

Garage Door	Old Car	Smoke Detector	Firesprinkler	Motion Detector	Webcam1
					

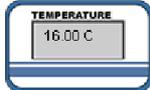
Door	Window	Fire Monitor	Fire	Wind Sensor	Fan
					
MC-PT	SBC-PT	Motion Sensor	Water Level Monitor	Lawn Sprinkler	Appliance
 MCU-PT	 SBC-PT		 Water Level Monitor		
Température	Home Gateway	CableModem m0	Central Office Server0	Server	Cell Tower0
 TEMPERATURE 16.00 C		 Cable-Modem-PT	 CO		
Smartphone	Home PC	TV	SWITCH	Router	Cloud
	 PC-PT	 TV-PT	 2960-24TT	 1941	 Cloud-PT

Tableau IV.2: Les modelés Packet Tracer utilisés au Réseaux des capteurs sans fil.

IV.2.2.2 Liens du programme de simulation :

Les liens qu'on a utilisés dans le programme de simulation se trouvent au tableau IV.3.

<i>IOT Custom Cable</i>	<i>Copper Straight Through</i>	<i>Coaxial</i>	<i>Copper Cross-Over</i>
			

Tableau IV.3 : Les liens qu'on a utilisés dans Packet Tracer.

IV.3 Simulation des performances des protocoles de routage des réseaux de capteurs sans fil :

Dans ce travail, nous allons simuler et évaluer les performances de protocoles de routage réactif (AODV, DSR), proactif (OLSR) et hybride (GRP) utilisés pour les réseaux MANET. Nous allons créer deux scénarios ayant 20 et 40 nœuds mobiles en utilisant le simulateur OPNET 14.5.

IV.3.1 Les métriques d'évaluation des performances sous OPNET.

Afin d'analyser et interpréter nos résultats des simulations, nous allons définir et présenter les métriques de performance.

1)- Performances Wireless LAN :

- **Débit (Throughput):** Représente le nombre total de bits (en bits/s) transmis des couches LAN sans fil aux couches supérieures dans tous les nœuds WLAN du réseau.
- **Charge réseau (Network Load):** Nombre total de tentatives de retransmission par tous les CCM WLAN du réseau jusqu'à ce que le paquet soit transmis avec succès ou qu'il soit rejeté en raison de la limite de réessai courte ou longue.
- **Délai d'accès des médias (Media Access Delay) :** Représente la statistique globale pour le total des délais de file d'attente et de contention des trames de données, de gestion, de Block-ACK et de Block-ACK Request transmises par tous les CCM WLAN du réseau.

Pour chaque image, ce délai est calculé comme la durée à partir du moment où il est inséré dans la file d'attente de transmission, qui est le temps d'arrivée pour les paquets de données de couche supérieure et le temps de création pour tous les autres types d'images.

➤ **Délai (Delay) :** Représente le délai de bout en bout de tous les paquets reçus par les cartes LAN sans fil de tous les nœuds WLAN du réseau et transmis à la couche supérieure. Ce délai inclut un délai d'accès moyen au MAC source, la réception de tous les fragments individuellement, et le transfert des images via AP, si la fonctionnalité du point d'accès est activée.

➤ **Nombre de paquets routés (Load) :** C'est le nombre de paquets routés transmis par paquets de données livrés à la destination.

Chaque transmission dans le sens des sauts d'un paquet de routage est comptée comme une transmission unique.

Il est important de mesurer le paramètre de charge pour un trafic optimal. La mesure de la charge d'acheminement évalue l'efficacité du protocole d'acheminement.

➤ **Essai de retransmissions (Retransmission Attempts) :** C'est le système de diffusion en cas de collision. La quantité de tentatives de possibilité de retransmission.

2) Performances du routage :

➤ **Paquets de contrôle (émis) (Paquets sent) :** Cette mesure détermine le nombre de paquets émis par un nœud aux fins de la gestion du réseau (identification. Recherche de route, maintien de la table de routage, maintenance des liens rompus, etc.). Étant donné que chaque protocole possède son propre algorithme de routage, nous aussi.

Espérons qu'avec cette métrique, découvrez lequel d'entre eux utilise les paquets minimaux de commande pour un meilleur routage des colis et une meilleure visibilité de la topologie de réseau à tout moment.

➤ **Paquets perdus (Packets dropped) :** Cette mesure détermine le nombre de paquets ou de données de perte de contrôle. Physiquement en ligne, ces pertes résultent du trafic ou du temps assez attendu.

➤ **Trafic émis (Sent Traffic) :** Ce trafic définit le volume de paquets de données efficaces émis par un nœud. Une source pour un nœud récepteur il est possible qu'un nœud source soit insuffisant.

Il faut envoyer toutes les données qu'il veut. Les principaux motifs sont soit le médium est très occupé avec les nœuds voisins, soit le nœud lui-même est trop chargé par routage des données à partir d'autres nœuds sources.

Un bon algorithme essaie de pencher vers un bon équilibre et trouver la meilleure combinaison de sentiers qui optimise les sorties et routés.

- **Trafic routé (Routing Traffic) :** Ce trafic détermine le volume de paquets de données effectifs acheminés à travers un nœud routeur.

Il peut s'agir de la source, du routeur ou de la destination. L'idéal serait, que chacune des sources envoient directement à leur destination sans déléguer leur chargement aux nœuds. Intermédiaires (routeurs).

Cette situation n'est pas une réalité, mais un choix parcours plus court, le routage sera réduit en conséquence.

- **Temps d'attente (Backoff) :** C'est un temps au hasard qu'un nœud peut attendre avant d'essayer de retransmettre, Les temps de recul sont ajustés pour augmenter ou diminuer la probabilité d'accès au médium promouvoir ou désavantager la transmission des données vers les flux de données prioritaires faible ou haut.

3) Performance de IP :

- **Nombre de sauts (Number of hops) :** Mesure du retard de bout en bout subi par l'information sur un flux de trafic de fond alors qu'il se déplace entre la source du flux et la destination du flux.
- **Trafic perdu (Traffic dropped) :** Ces statistiques donnent le nombre moyen de sauts IP pris par les paquets de données atteignant un nœud de destination.

4) Performance voice:

- **Paquet de bout en bout – Délai (Packet end-to-end –Delay):** C'est le nombre moyen de paquets par seconde soumis aux couches de transport par toutes les voix applications dans le réseau.
- **Trafic émis (Traffic sent):** Nombre moyen de paquets par seconde expédiés à la couche de transport utilisé par toutes les applications de la voix dans le réseau.
- **Trafic reçu (Traffic received):** Nombre moyen de paquets par seconde expédiés à toutes les applications Voice par la couche de transport du réseau.

IV.3.2 Conception et création du scénario n°1 :

En utilisant le simulateur OPNET 14.5, nous avons conçu un réseau MANET ayant 20 nœuds mobiles avec la mobilité vectorielle.

Les étapes de l'étude et de la conception sont les suivantes :

- 1-Création d'une topologie composée de 20 nœuds mobiles (Figure IV.3)
- 2-Ajout d'un serveur Wireless LAN server qui joue le rôle du nœud puits.
- 3- Ajout des blocs de configurations nécessaires pour la simulation (Application définition, Profile Définition, Application Task Définition, Recevies groupe Configuration et Mobility Model) Le nœud "Application Config" est utilisé pour spécifier UDP (VOICE: PCM Quality speech) ET applications TCP (FTP: High Load)

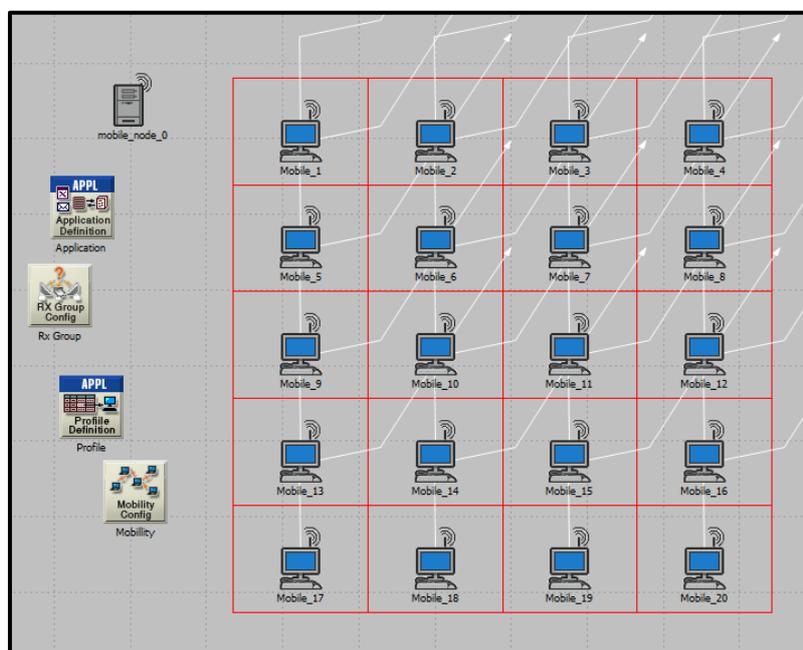
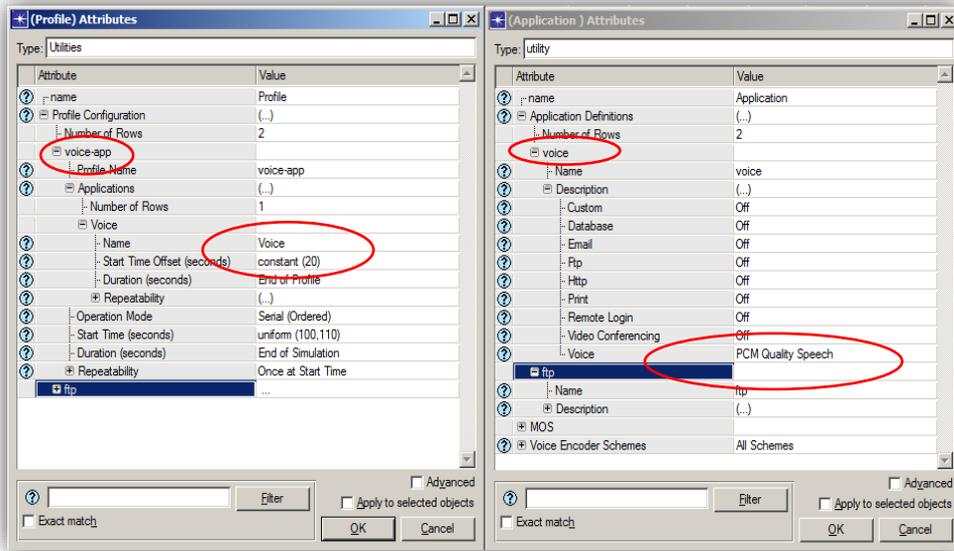


Figure IV.3: Topologie de 20 nœuds mobiles.

La figure IV.4.a et IV.4.b représente les configurations des applications et des profils utilisés (Application Définition, Profile Définition) respectivement dans logiciel OPNET.



(b)

(a)

Figure IV.4 : (a) Application Définition, (b) Profile Définition.

La figure VI.5 présente l’animation du réseau simulé dans le modèle de performance de routage MANET.

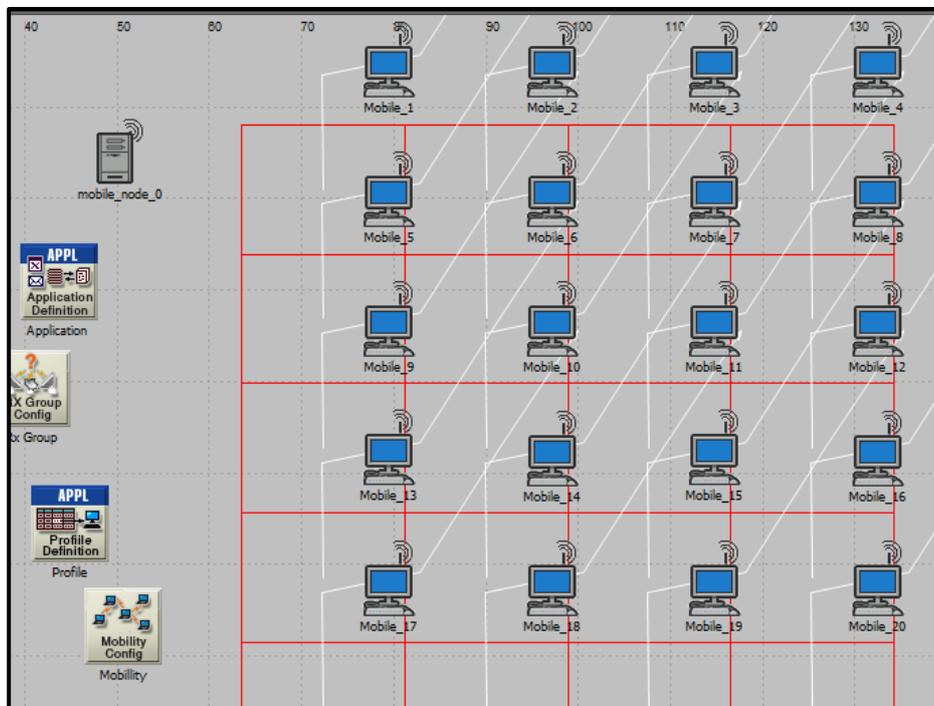


Figure VI.5: Animation du réseau Ad hoc simulé (20 nœuds mobiles).

VI.3.2.a Configuration de la simulation :

Afin de mieux étudier et analyser les performances des protocoles de routage d'un des simulations d'un réseau MANET avec différentes conditions de configuration, ont été effectué.

Ce tableau représente les paramètres de simulation de logiciel OPNET.

Noms	Paramètres
Protocole de routage	AODV, DSR, GRP, OLSR
Couche de Mac	802.11
Taille de paquets	512 Octets
Taille de manette	5Km x 5Km
Couche Physique WLAN	IEEE 802.11 g
Débit	11 Mbps
Nœuds mobiles	20,40
Temps de simulation	900 s (15 min)
Type de trafic	PCM Quality Speech(Discourse de PCM Quality
Modèle de mobile	Randon way point Mobility

Tableau IV.4 : les paramètres de simulation

IV.3.2.b Résultats et discussions:

1) Débit (Throughput):

Cette figure montre l'acheminement du Débit (bits/sec) en utilisant les quatre protocoles de routage AODV, DSR, OLSR, GRP pour 20 nœuds, le débit du protocole DSR montre une augmentation remarquable jusqu'à 552500bits /sec à 14min50s, en OLSR il est plus élevé qu'AODV car il montre une augmentation jusqu'à 130.000 (bits/sec) à 14.50min.

Le débit d'AODV présente un maximum de 90.000 (bits/sec) à 14.50min. Celui du GRP est plus faible, il donne une valeur de 125.000 (bits/sec) à 14.50min.

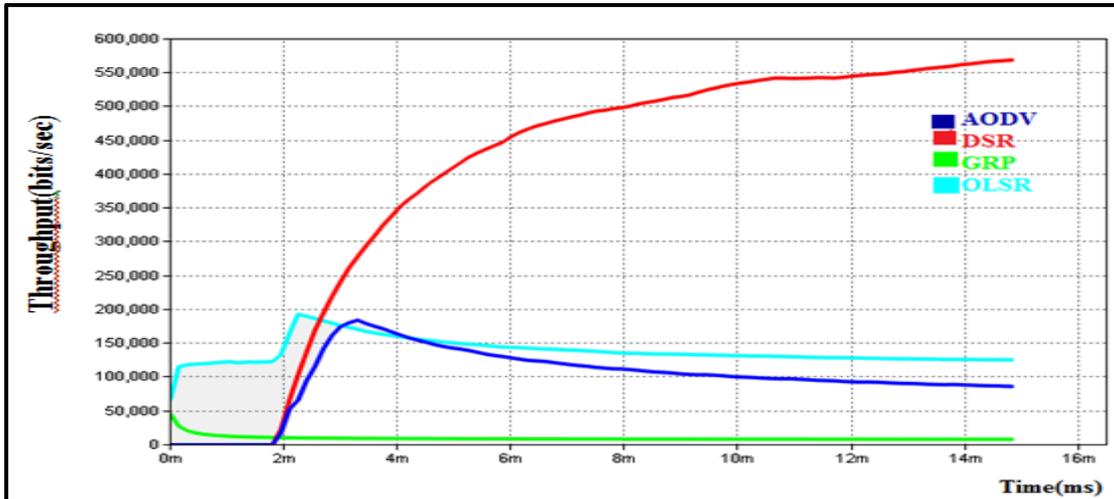


Figure IV.6: Comparaison du débit dans les quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles.

2) Charge du réseau (Network Load) :

La figure IV.7 présente le résultat de l'acheminement de la Charge du réseau des quatre protocoles de routage AODV, DSR, OLSR, GRP pour 20 nœuds.

La charge du réseau d'OLSR présente une valeur de 1.65 bits/sec à 2 min et une valeur maximale de 2.09 bits/sec.

DSR augmente de 1.5 bits/sec à 2 min jusqu'à 2,19 bits /sec à 15 min. Nous pouvons commander la charge du réseau respectivement : GRP > AODV > OLSR > DSR.

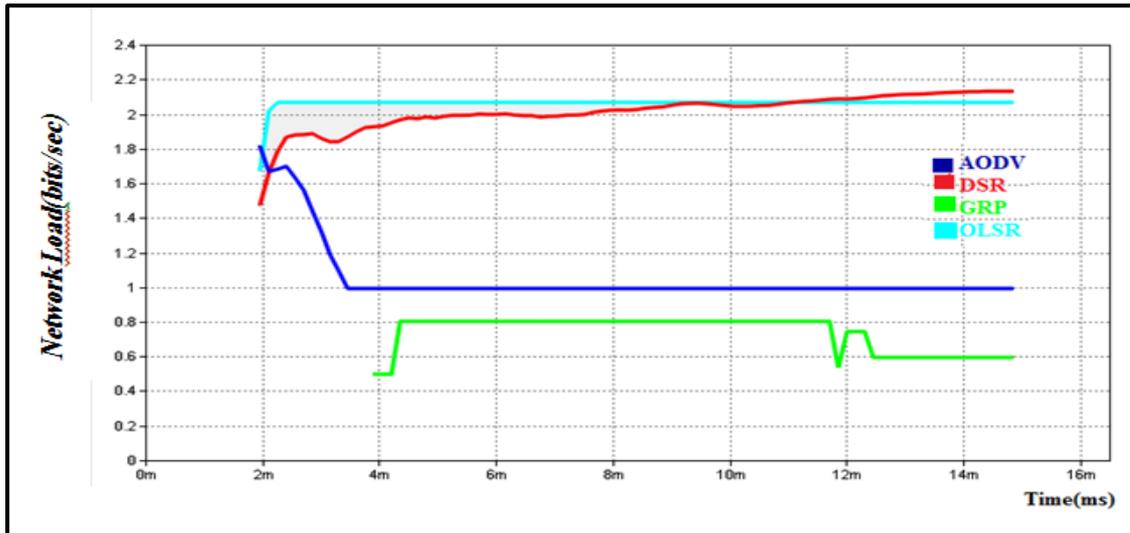


Figure IV.7: Comparaison de la charge du réseau dans les quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles.

3) Temps d'accès au médium (Media Access Delay) :

Sur la Figure IV.8, nous voyons que le DSR a un délai initial d'accès aux médias au début de la simulation.

Nous pouvons conclure que le retard d'accès des médias dans le DSR est le plus élevé, dans l'AODV est plus élevé que l'OLSR et dans le GRP, nous avons un délai d'accès aux médias minimum.

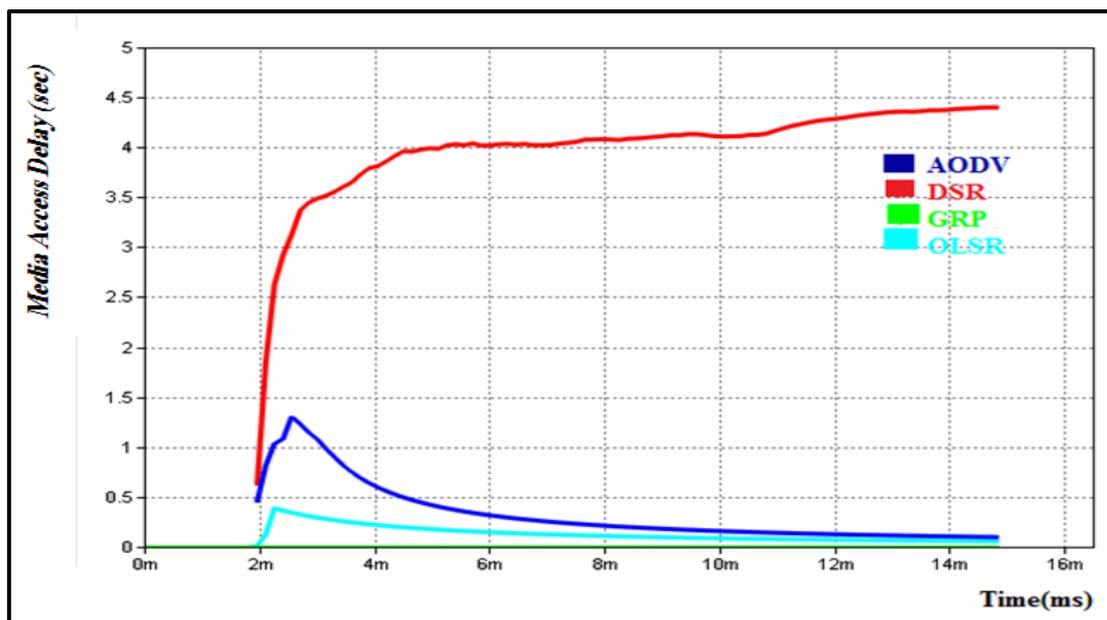


Figure IV.8: Comparaison du délai d'accès au médium dans les quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles

4) Délai (Delay) :

Selon la figure IV.9, DSR a un retard initial par rapport aux protocoles AODV, OLSR ET GRP.

Les résultats de simulation montrent que le retard dans DSR est le plus élevé et en GRP est le plus faible. Le retard dans l'AODV est plus élevé que l'OLSR.

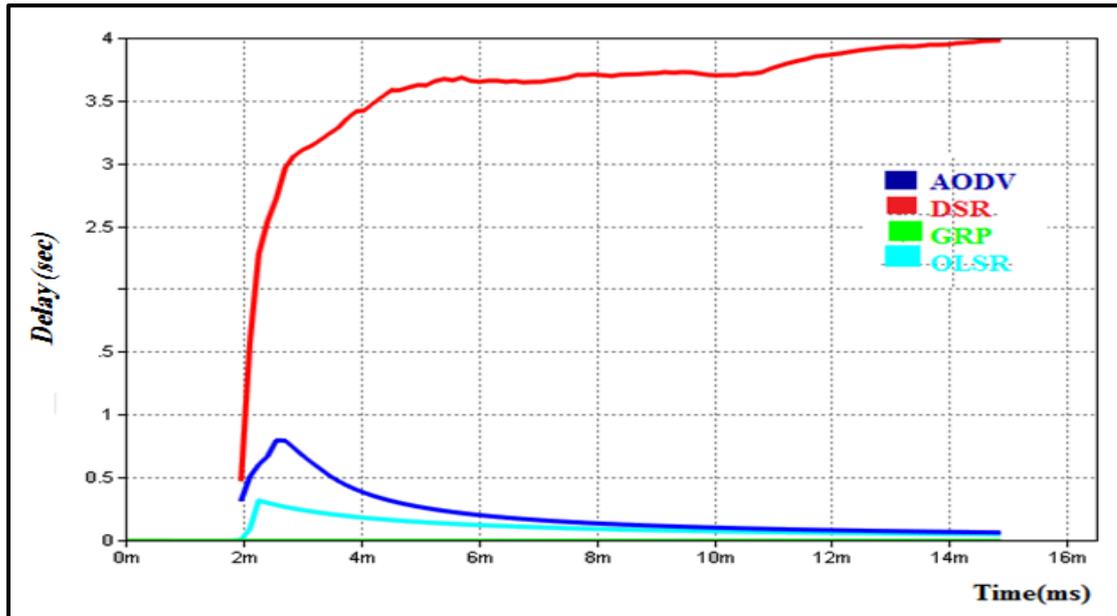


Figure IV.9: Comparaison du délai dans les quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles

5) Le nombre de paquets routé ou Charge de routage (Load):

D'après les résultats de la simulation présentés dans la figure IV.10, nous pouvons conclure que le nombre de paquets routé dans DSR est plus élevé qu'AODV.

La charge de routage dans l'AODV est plus élevée qu'OLSR.

Enfin, le protocole GRP présente une valeur faible du nombre de paquets routés.

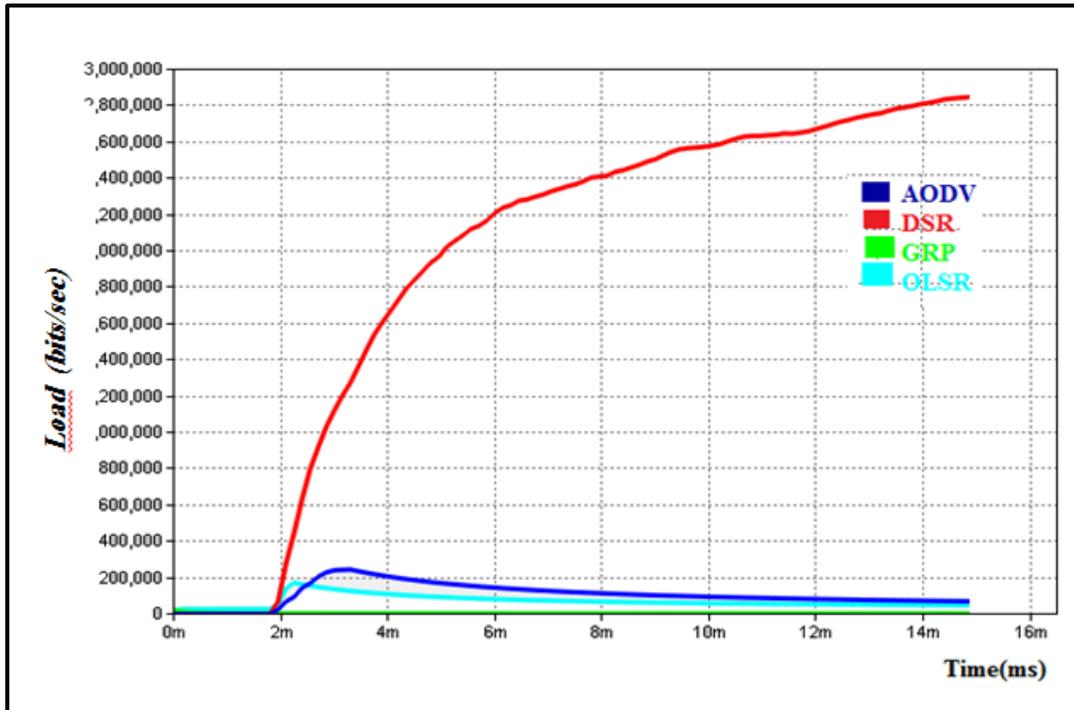


Figure IV.10: Comparaison du nombre de paquets routés (bits/s) dans les quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles

6) Délai de bout en bout des paquets (Packet end-to-end Delay) :

Dans Figure IV.11, on représente le délai de bout en bout des paquets du scénario n°1, les protocoles réactifs (AODV et DSR) présentent un délai plus fort (11.5s, 8.2s) que celui d'OLSR qui est de l'ordre 7s...

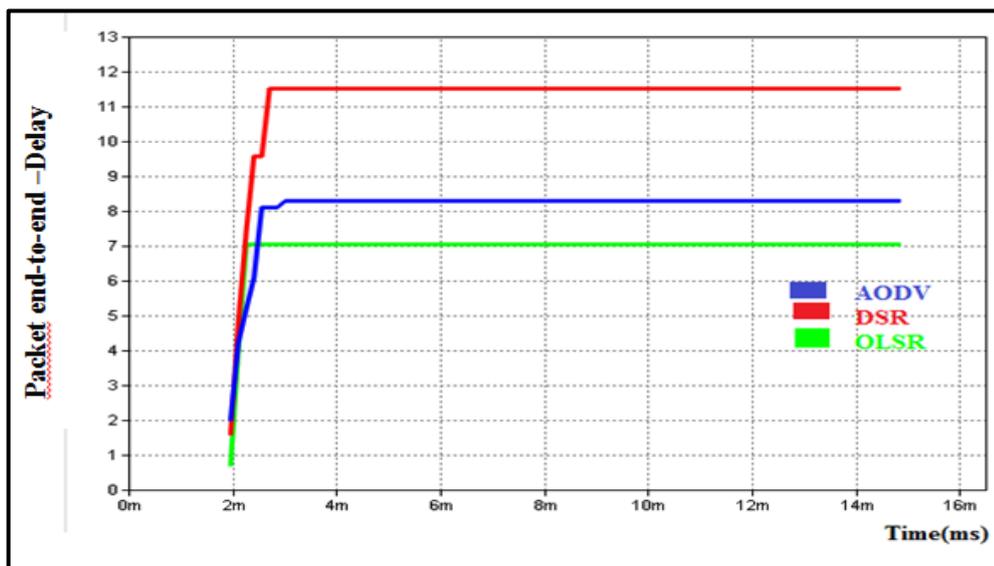


Figure IV.11 : Comparaison de délai de bout en bout du paquet dans les quatre protocoles de routage 20 nœuds mobiles.

7) Traffic reçu (Traffic received):

La figure IV.12 ci-dessous montre l'acheminement du trafic reçu (Packet/sec) pour les quatre protocoles de routage simulés (AODV, DSR, OLSR, GRP) pour 20 nœuds.

Le trafic reçu par l'AODV montre une valeur de 2,8 paquets/sec à l'instant 1min58s, ainsi que le protocole OLSR correspondant à la moitié de la valeur d'AODV au même instant.

Après ce changement, la variation des paquets de réception d'OLSR est beaucoup plus faible que celle d'AODV, le trafic reçus par l'OLSR montre une augmentation jusqu'à 1.4 packets/sec à l'instant 1min58s ; par ailleurs la valeur pour d'OLSR décroît à la moitié de la valeur d'OLSR au même instant de transmission, le trafic reçus par l'OLSR montre 0.6 packets/sec à l'instant 1min58s.

Dans le cas du protocole GRP, le trafic reçu est négligeable devant les autres protocoles de routage

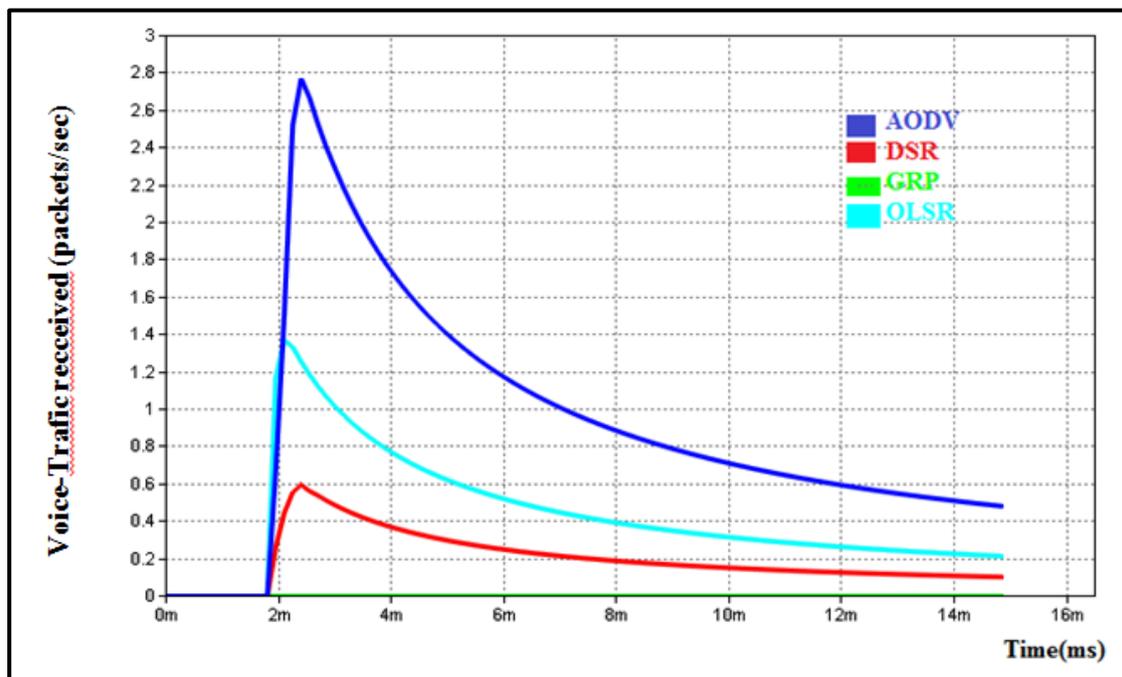


Figure IV.12 : Comparaison du trafic reçu dans les quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles.

8) Trafic émis (Traffic sent):

Dans la Figure IV.13 illustre le comportement de l'acheminement du trafic envoyé en fonction du temps de transmission, la taille des paquets de trafic envoyés est plus bas dans OLSR.

On remarque une augmentation de trafic envoyé à partir de l'instant 2 min pour l'AODV à un certain seuil 2.600packet/sec, de même une augmentation du trafic envoyé pour DSR à un seuil égale 2.190 packet/sec.

Le trafic envoyé pour GRP atteint un seuil égal à 1.800 (packet/sec).

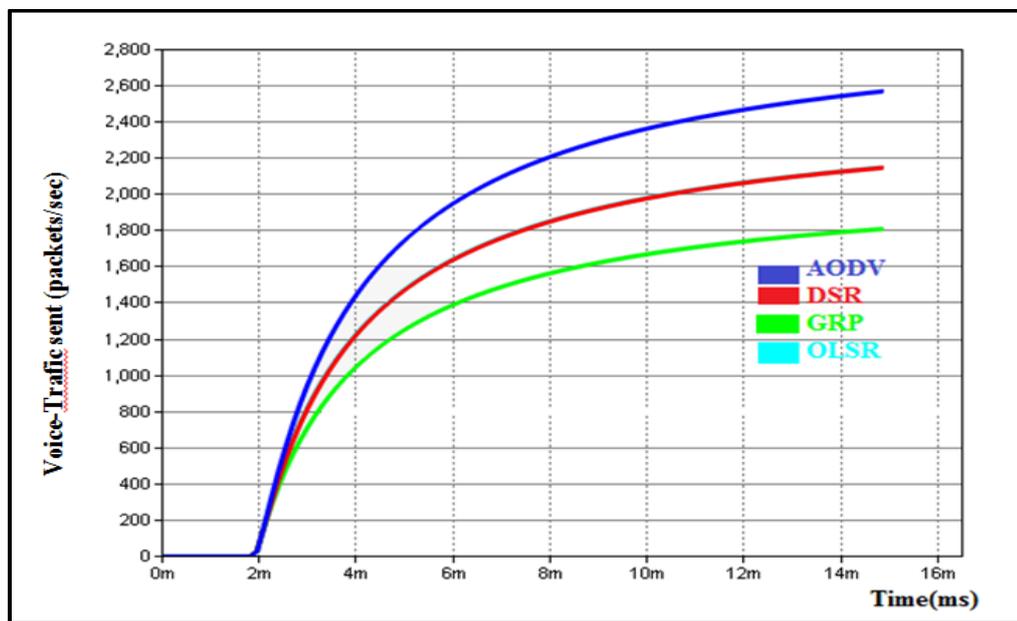


Figure IV.13 : Comparaison du trafic émis dans les quatre protocoles de routage pour 20 nœuds mobiles.

IV.3.3 Conception et création du scénario n°2

La figure IV.14 montre l'environnement de simulation du deuxième scénario contenant 40 nœuds mobiles. Le temps de simulation est de 15 minutes. La vitesse de déplacement de destination est de 10m/s.

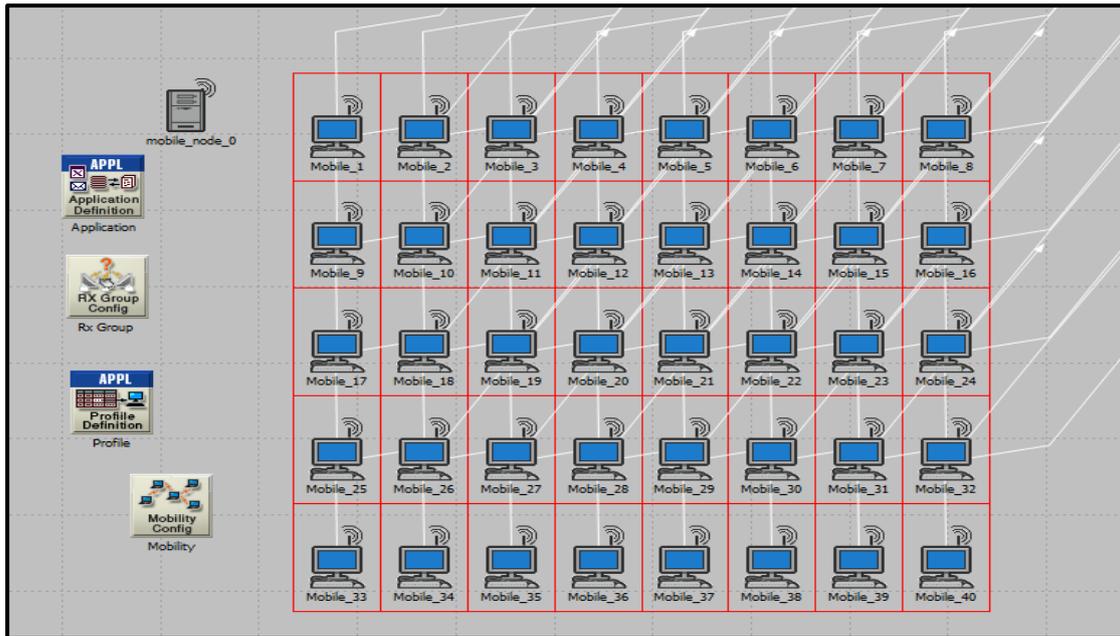


Figure IV.14 : Topologie de 40 nœuds mobiles.

La figure IV.15 présente l’animation du réseau simulé dans le modèle de performance de routage MANET.

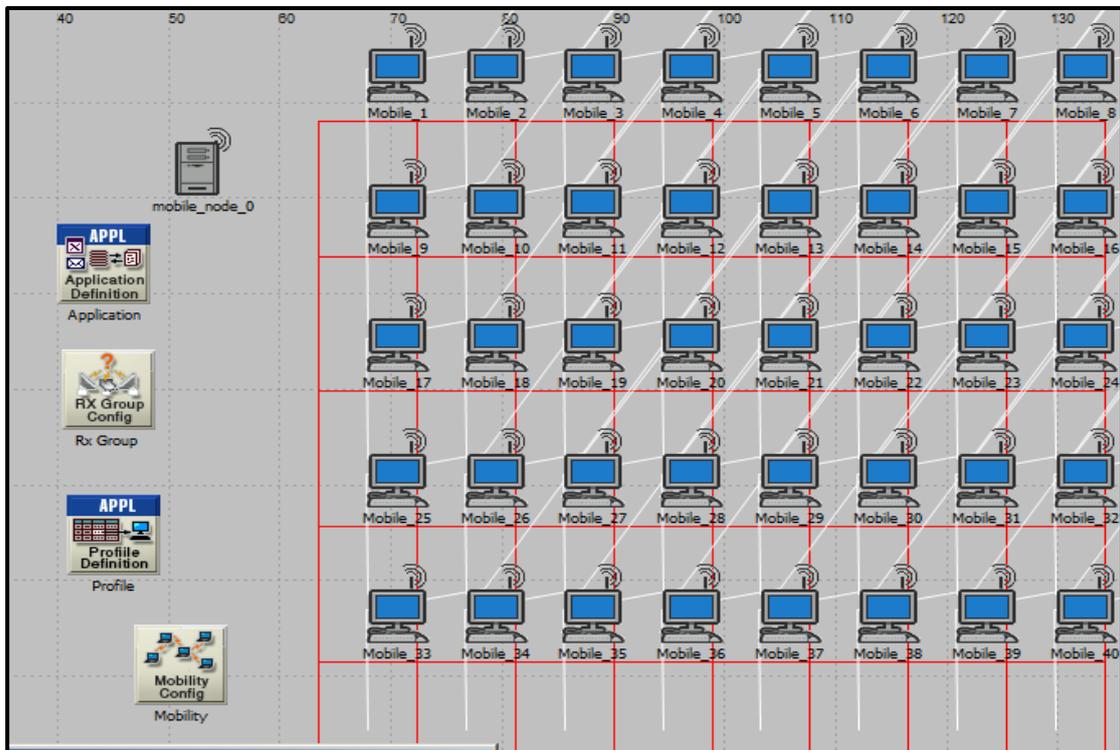


Figure IV.15: Animation du réseau Ad hoc simulé (40 nœuds mobiles).

IV.3.3.a Résultats et discussions

1) Débit(Throughput):

La figure IV.16 montre la visualisation de l'acheminement du débit (bits/sec) des quatre protocoles AODV, DSR, OLSR, GRP pour 40 nœuds, le débit pour GRP montre une croissance jusqu'à 64.900 bits/sec à 14min50s, en AODV, il est plus élevé que DSR car il montre une augmentation jusqu'à 400.010 (bits/sec) à 14.50min. Le protocole OLSR est plus faible.

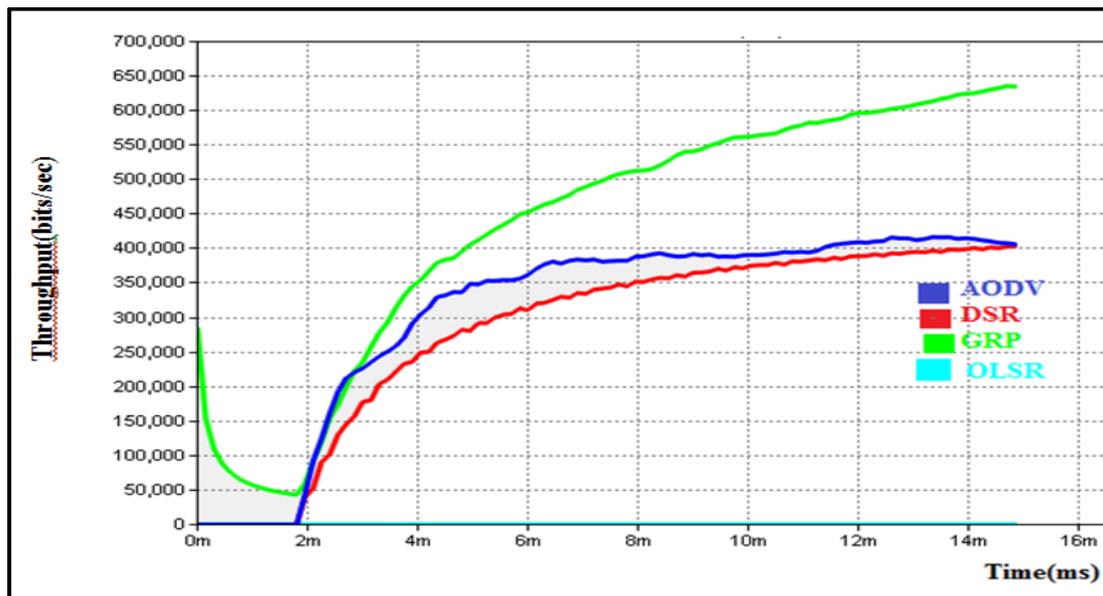


Figure IV.16: Comparaison du débit dans les quatre protocoles de routage Pour 40 nœuds mobiles.

2) Charge du réseau (Network Load) :

La figure IV.17 montre l'acheminement de la Charge du réseau (bits/sec) en utilisant les quatre protocoles de routage AODV, DSR, OLSR, GRP pour 40 nœuds.

On remarque qu'après l'instant 2 min la charge du réseau subit une augmentation importante de 100.000 à 1.150.000 (bits/sec). GRP présente une charge du réseau meilleure par rapport aux restes des protocoles de routage simulés.

Dans la figure, on remarque que le protocole DSR est Point en 2 minutes pendant la simulation.

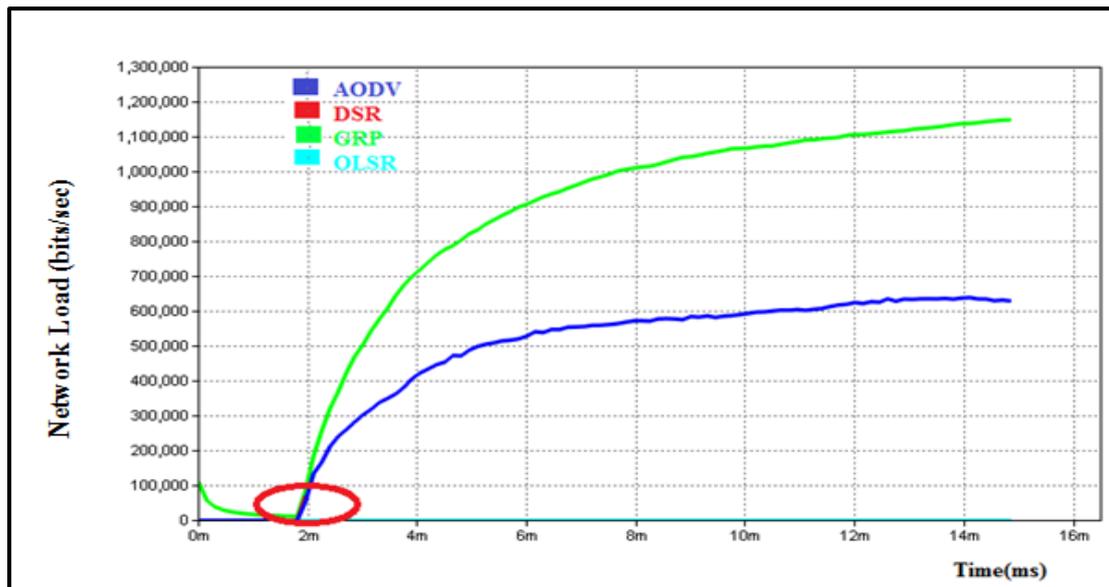


Figure IV.17: Comparaison de la charge du réseau dans les quatre protocoles de routage pour 40 nœuds mobiles.

3) Temps d'accès au médium (Media Access Delay) :

La figure IV.18 montre l'évolution du délai d'accès au médium (sec) en fonction du temps de transmission utilisant les quatre protocoles de routage AODV, DSR, OLSR, GRP pour 40 nœuds.

On remarque que cette métrique dans GRP et AODV augmentent à partir de l'instant 2 min jusqu'à la fin de la simulation (15 min).

Les protocoles OLSR et DSR présentent une faible et minimum valeur du délai d'accès au médium devant GRP et AODV.

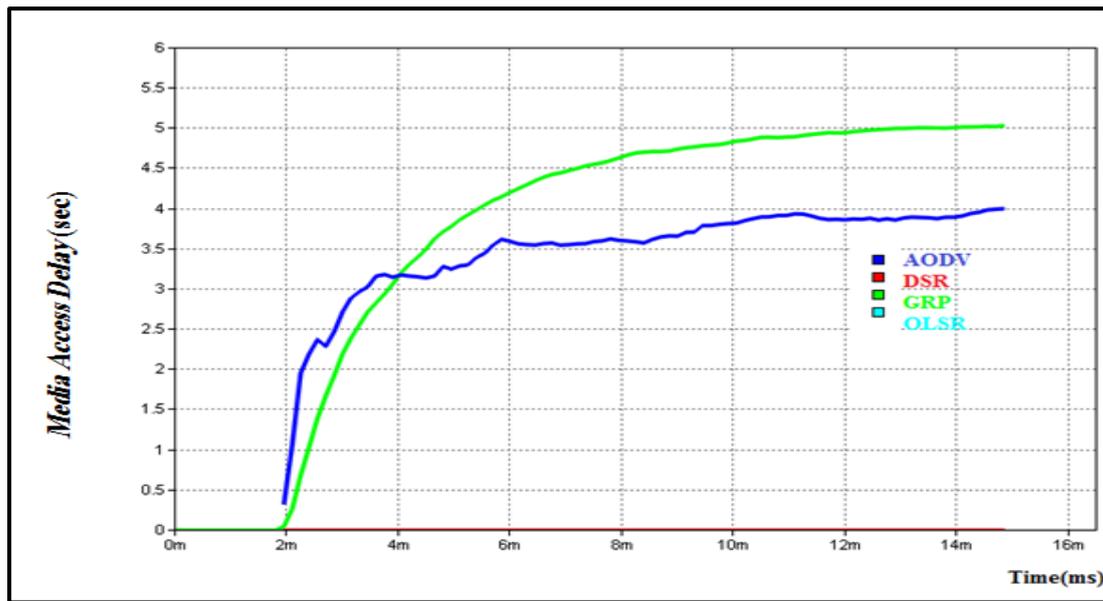


Figure IV.18: Comparaison du délai d'accès au médium dans les quatre protocoles de routage pour 40 nœuds mobiles.

4) Délai (Delay) :

La figure IV.19 illustre le délai (sec) en utilisant les trois types de protocoles (réactive, hybride, proactive) pour 40 nœuds.

Le protocole AODV commence par un initial délai par rapport aux autres protocoles. Les résultats de la simulation montrent que le délai dans GRP est le plus élevé et dans OLSR et DSR est le plus bas. Le délai dans AODV est supérieur à OLSR et DSR.

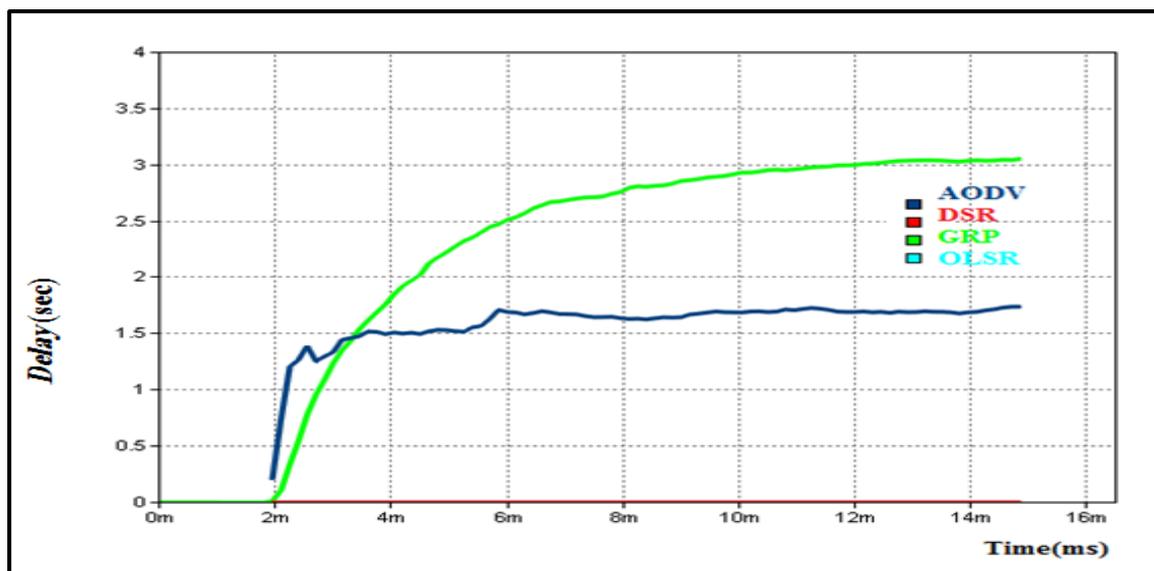


Figure IV.19: Comparaison du délai dans les quatre protocoles de routage pour 40 nœuds mobiles.

5) Le nombre de paquets routé ou Charge de routage (Load):

D'après la figure IV.20, on conclut que le nombre de paquet routé est plus élevé dans GRP que dans AODV.

Dans l'intervalle de temps 0 min à 2 min il n'y a pas de charge de routage, GRP atteint une valeur maximale de 4.400.000 bits/sec tandis que AODV à 1.000.000 (bits/sec) à la fin du temps de la simulation 14min50sec.

Finalement, la valeur minimale du nombre de paquets routés est atteinte dans les protocoles DSR et OLSR.

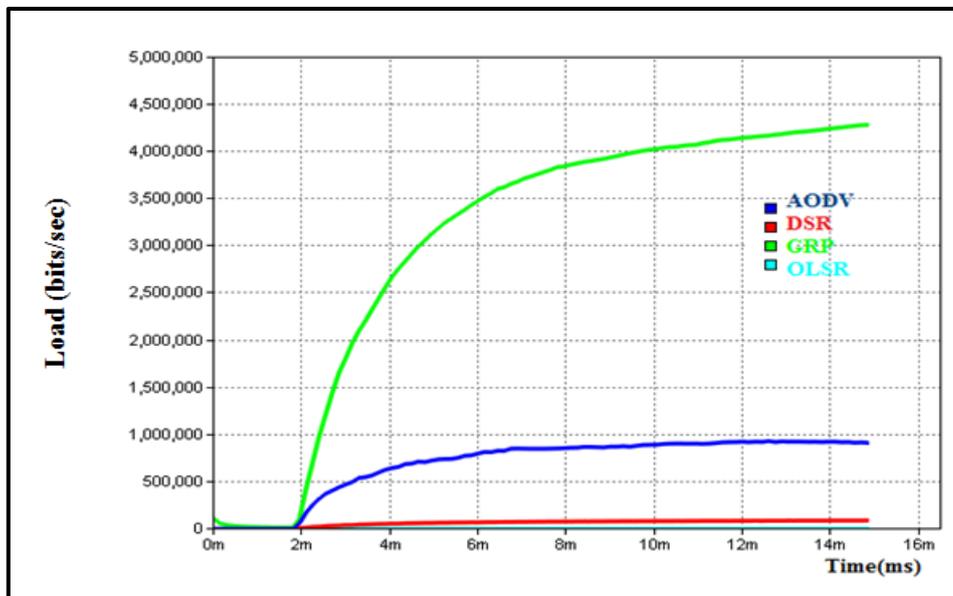


Figure IV.20: Comparaison du nombre de paquets routé (bits/s) dans les quatre protocoles de routage pour 40 nœuds mobiles.

6) Délai de bout en bout des paquets (Packet end-to-end Delay) :

En observant la figure IV.21, on conclut que le délai de bout en bout des paquets subit une augmentation importante dans GRP par rapport aux autres protocoles.

Les faibles valeurs de délai de bout en bout des paquets signifient une meilleure performance du protocole.

D'après les résultats de simulation, les protocoles DRS et OLSR présentent des meilleures performances par rapport aux autres protocoles.

Dans la cercle, on remarque que le protocole DSR est Point en 2 minutes pendant la simulation.

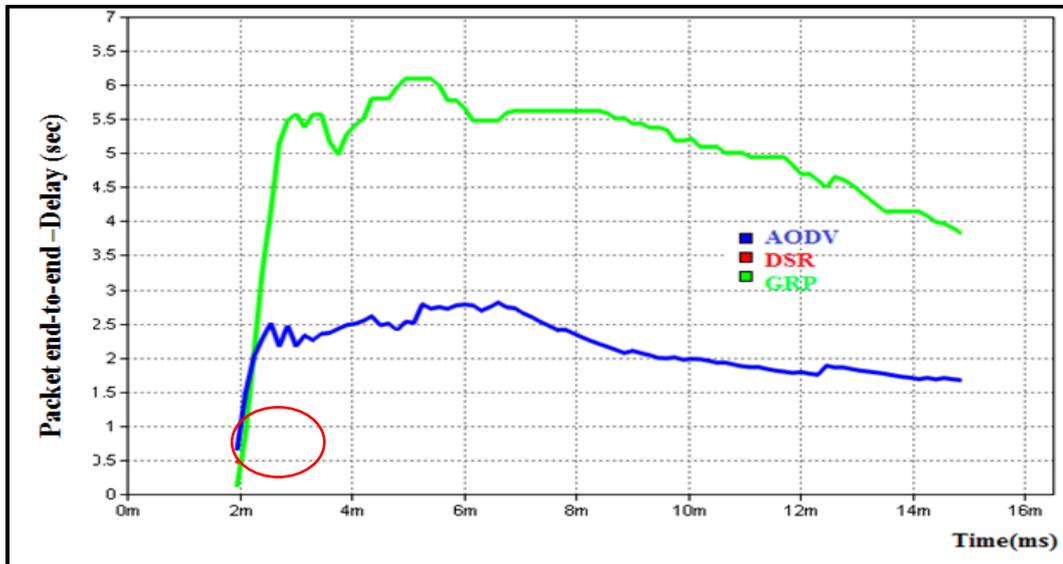


Figure IV.21: Comparaison de délai de bout en bout des Paquets dans les protocoles de routage réactifs, proactifs et hybrides pour 40 nœuds mobiles.

7) Trafic reçu (Traffic received):

Cette figure IV.22 montre le routage du trafic reçu (packet/sec) dans les quatre protocoles AODV et OLSR et DSR, GRP, pour 40 nœuds.

Le trafic reçu par l'AODV atteint 45 packet/sec à la fin du temps de la simulation. La valeur du trafic reçu est égale à 1.9 paquets/sec, 13 paquets/sec par DSR, GRP respectivement à l'instant 1min59s. L'OLSR présente un trafic reçu négligeable.

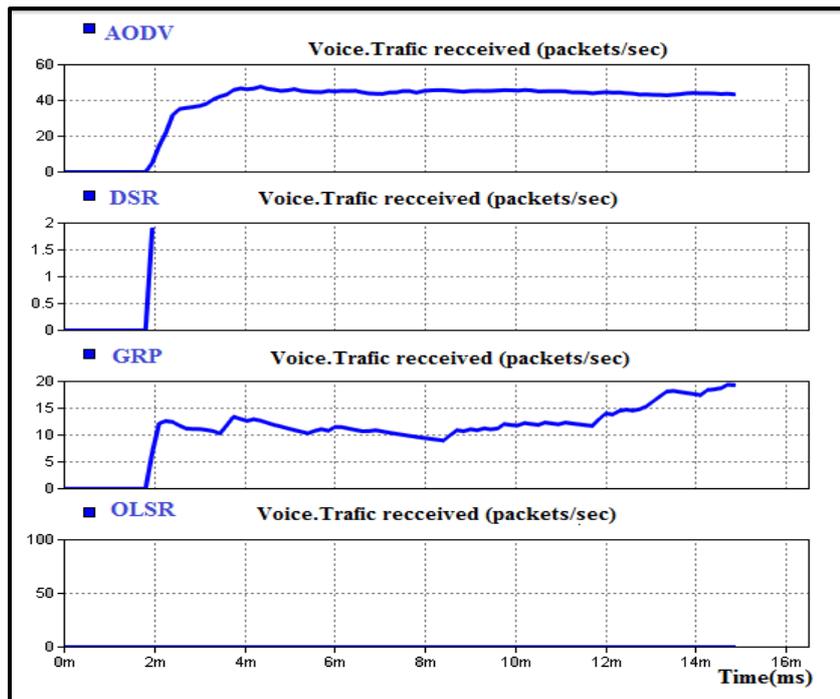


Figure IV.22 : Comparaison du Trafic reçu dans les protocoles de routage réactifs, proactifs et hybrides pour 40 nœuds mobiles.

8) Trafic émis (Traffic sent):

La figure IV.23 illustre l'évolution du taux du trafic émis à entrer temporelle en fonction du temps, on remarque une augmentation du trafic envoyé par l'AODV à une valeur 2600 packet/sec à l'instant 15 min. Le trafic émis à destination par DSR atteint un seuil plus fiable (60 packet/sec) à l'instant où la simulation se termine.

Le trafic émis par le GRP change de valeur environ 4000 paquets/sec à l'instant 15min. Le trafic émis par OLSR évolue jusqu'à 3900 packet/s à l'instant de transmission 15 min.

On remarque qu'à l'instant 2min, le taux de trafic émis subit une augmentation importante (de 0.000 à 5.000 paquets/sec) dans le but d'atteindre le destinataire.

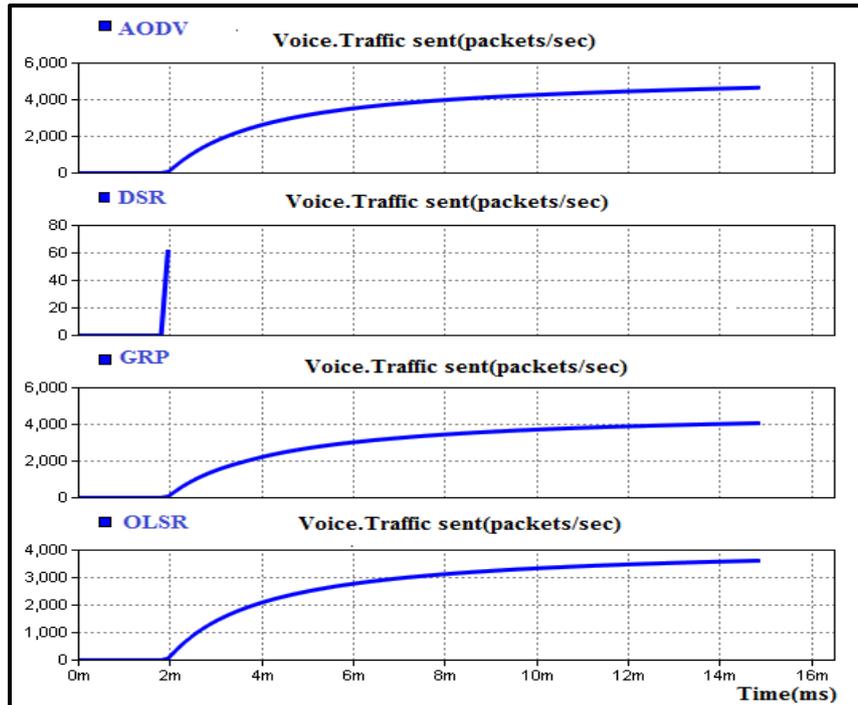


Figure IV.23: Comparaison du trafic émis dans les quatre protocoles de routage.

IV.3.4 Comparaison entre les deux scénarios :

1) Débit (Throughput):

D'après la figure IV.24, En analysant le débit, on remarque que le scénario n°2 de 40 nœuds mobile est le meilleur par rapport au premier scénario de 20 nœuds mobiles. Selon les résultats obtenus, le protocole GRP est le plus fort, suivi par AODV pour le cas de 40 nœuds.

On remarque que les protocoles OLSR et DSR, dans le scénario n°2 sont plus faible para pure les êtres protocoles qui le débit moins de 50000 (bits/sec).

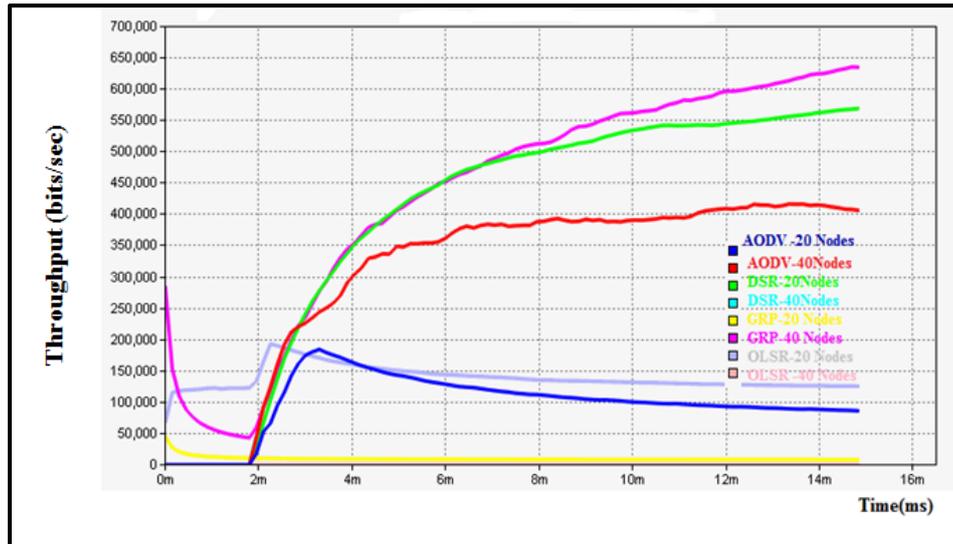


Figure IV.24: Comparaison du débit dans les deux scénarios.

2) Charge du réseau (Network Load):

En basant sur la figure IV.25, GRP (scénario n°2 :40 nœuds) est le meilleur, il atteint une charge de 1150kbps suivi par AODV qui aboutit à une charge d'environ 650 kbps. On remarque que la charge du réseau pour 40 nœuds est plus forte par rapport au premier scénario.

On remarque que les protocoles OLSR et DSR, dans le scénario n°2 sont plus faible para pure les êtres protocoles qui la charge de réseau moins de 100000 (bits/sec).

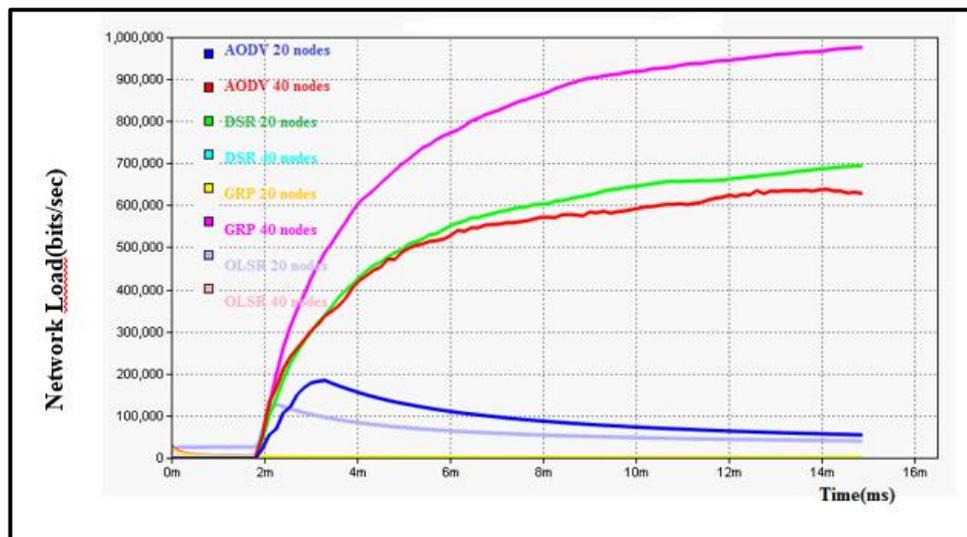


Figure IV.25: Comparaison de la charge du réseau dans les deux scénarios

3) Temps d'accès au médium (Media Access Delay) :

D'après la figure IV.26, on remarque que DSR et AODV (40nœuds) sont les meilleurs par rapport aux autres protocoles. On conclut que les protocoles réactifs sont les plus performants.

On remarque que les protocoles OLSR et DSR, dans le scénario n°2 sont plus faible para pure les êtres protocoles qui temps d'accès au médium moins de 0.5 (sec).

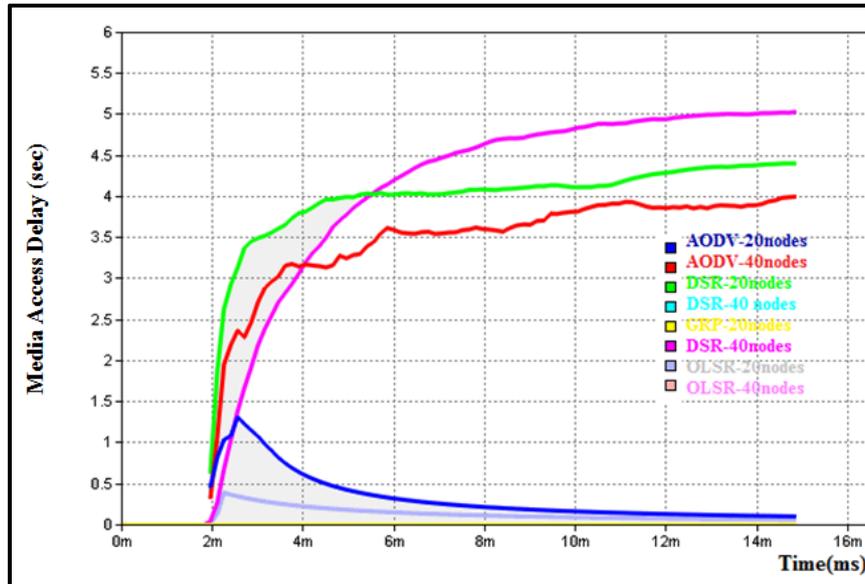


Figure IV.26: Comparaison de délai d'accès au médium dans les deux scénarios.

4) Délai (Delay) :

La Figure IV.27 montre que le délai le plus faible et le plus optimale est assuré par le scénario à 20 nœuds dans les protocoles réactifs et proactifs.

Les protocoles dans les deux scénarios sont convergents.

On remarque que les protocoles OLSR et DSR, dans le scénario n°2 sont plus faible para pure les êtres protocoles qui le délai moins de 0.5 (sec).

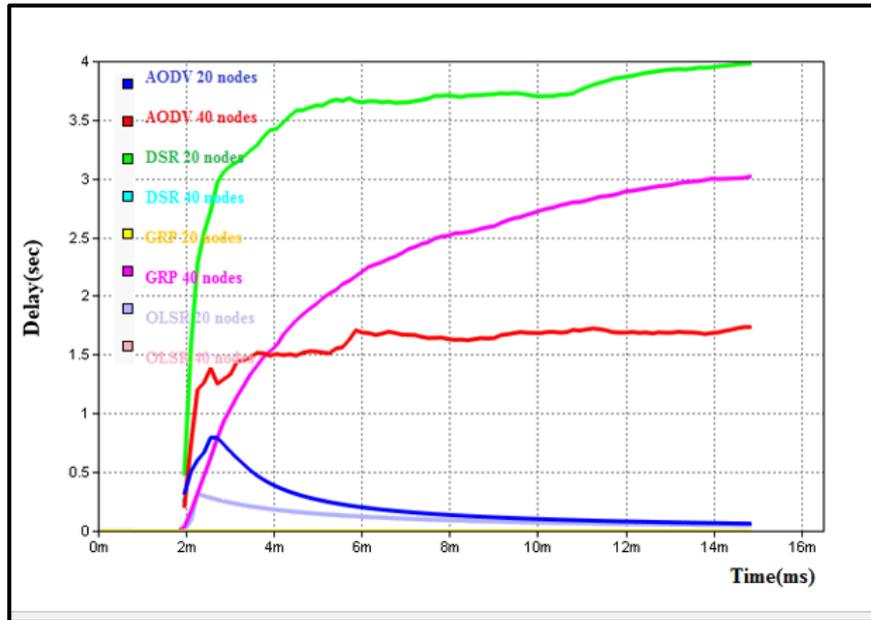


Figure IV.27: Comparaison du délai dans les deux scénarios.

5) Nombre de paquets routé ou charge du routage (Load):

Dans la figure IV.28, on remarque que les protocoles AODV et OLSR présentent moins de paquets routés dans les deux scénarios par rapport aux autres protocoles. Le nombre de paquets routés augmente avec l'augmentation de la densité des nœuds.

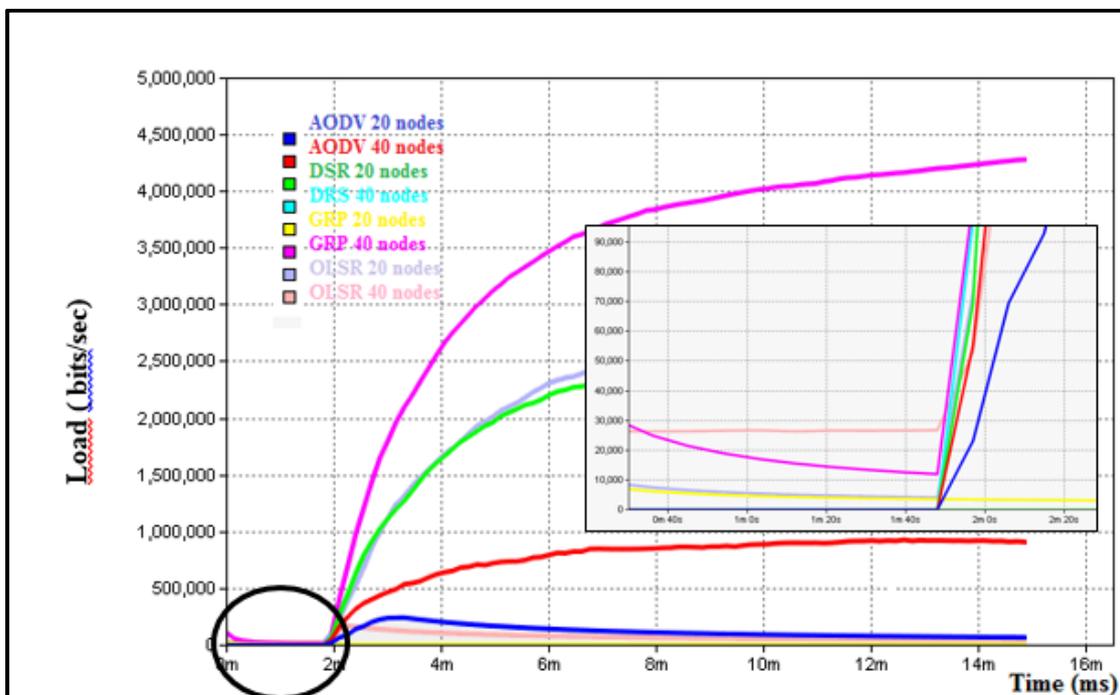


Figure IV.28: Comparaison du nombre de paquets routés dans les deux scénarios.

6) Délai de bout en bout des paquets (Packet end-to-end –Delay) :

D’après la figure IV.29, on remarque que le délai de bout en bout des protocoles AODV et GRP est optimale.

On constate plus cette métrique est bas plus il est performant pour le réseau. Dans la cercle, on remarque que le protocole DSR est Point en 2 minutes pendant la simulation.

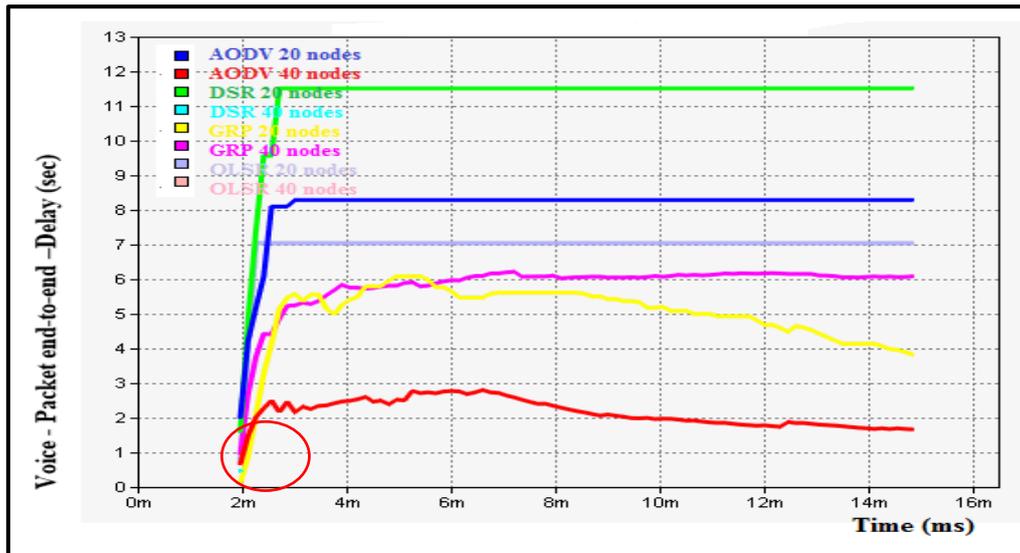


Figure IV.29: Comparaison de délai de bout en bout des paquets dans les deux scénarios.

7) Trafic reçu (Traffic received):

On remarque dans la figure IV.30 que le protocole AODV dans le scénario n°2 (40noeuds) présente un maximum de trafic reçu par rapport aux autres protocoles.

Le paquet est démarré à 1min58s et il atteint 47packet/sec à l’instant de simulation 4min35s.

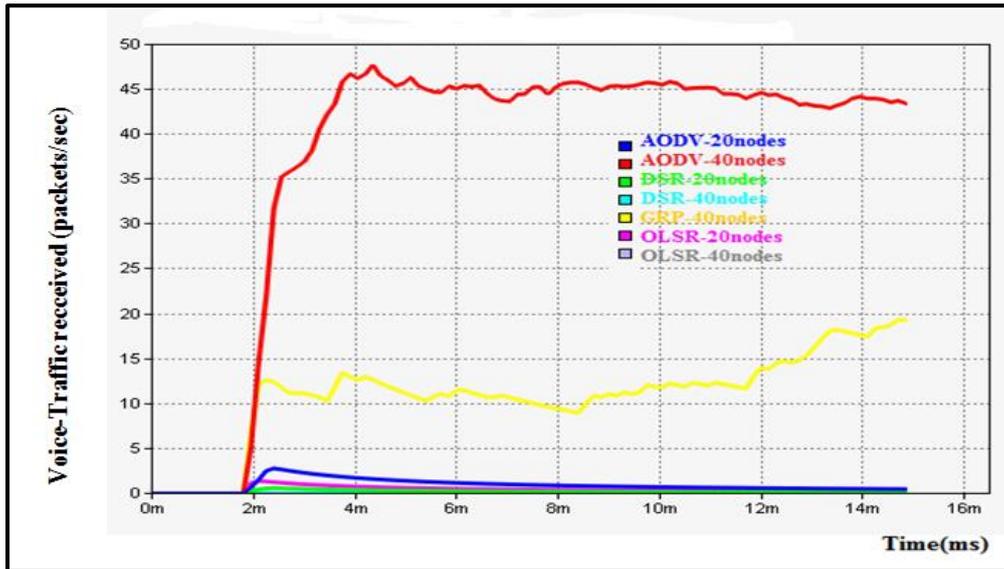


Figure IV.30 : Comparaison de trafic reçu dans les deux scénarios.

8) Trafic émis (Traffic sent):

La figure IV.31 montre que le trafic émis est plus important dans scénario n°2 en comparaison avec scénario n°1.

On constate que plus le nombre de nœuds du réseau est fort plus le trafic émis est dense.

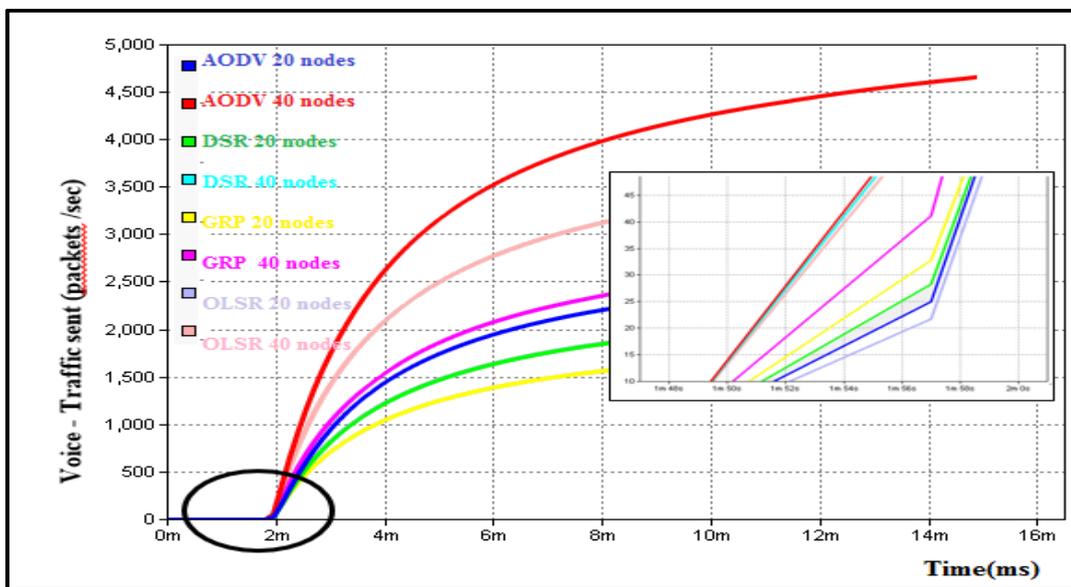


Figure IV.31: Comparaison de trafic émis dans les deux scénarios.

8) Nombre de sauts par route (Number of Hops per Route) :

La figure IV.32 montre que le nombre moyen de sauts par route du protocole AODV (près de 4.5) est supérieur à celui de DSR (près de 0.5) car la découverte de leur route prend plus de temps car chaque nœud intermédiaire essaie d’extraire des informations avant de transmettre la réponse comme indiqué dans la figure IV.33.

Dans le cas de 20 nœuds mobiles, le nombre moyen de sauts par route est presque le même. Par conséquent, le routage AODV rend la découverte de routes plus rentable, il ralentit la transmission de paquets.

Le paquet démarre à 2 min. On remarque que le protocole AODV dans les deux cas est plus fort par rapport au protocole DSR.

Dans la cercle, on remarque que le protocole DSR est Point en 2 minutes pendant la simulation.

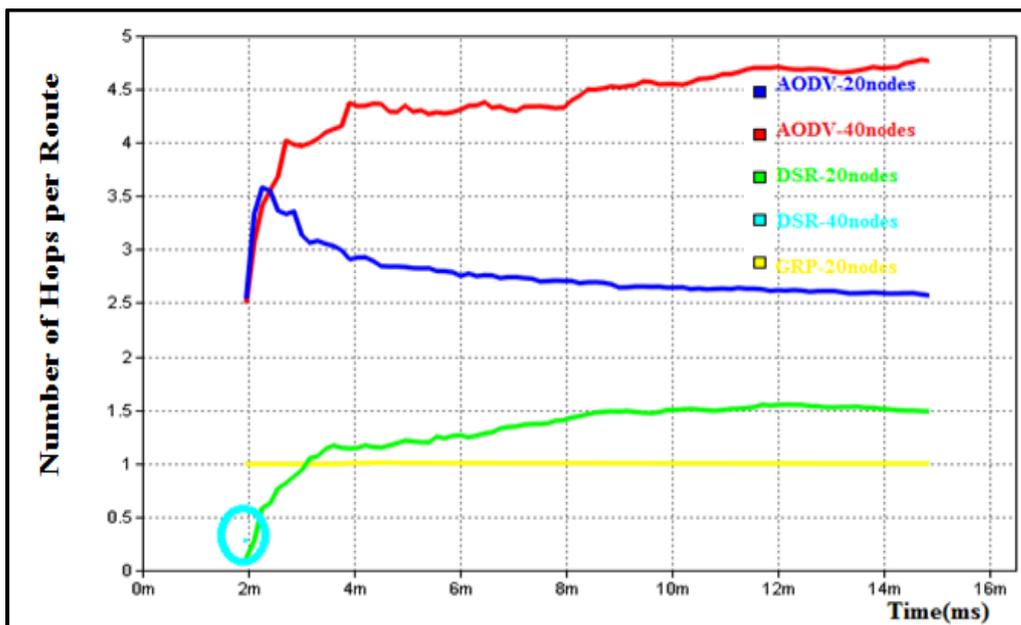


Figure IV.32: Nombre de sauts par route dans les protocoles de routage.

10) Temps de découverte de la route (Route Discovery Time) :

La figure IV.33 expose le temps de découverte de paquet dans le protocole réactive (AODV, DSR). Nous remarquons que le temps de découverte de la route est grand

dans le protocole AODV par rapport à DSR. Par conséquent, le routage AODV rend la découverte de routes plus rentable.

Dans la cercle, on remarque que le protocole DSR est Point en 2 minutes pendant la simulation.

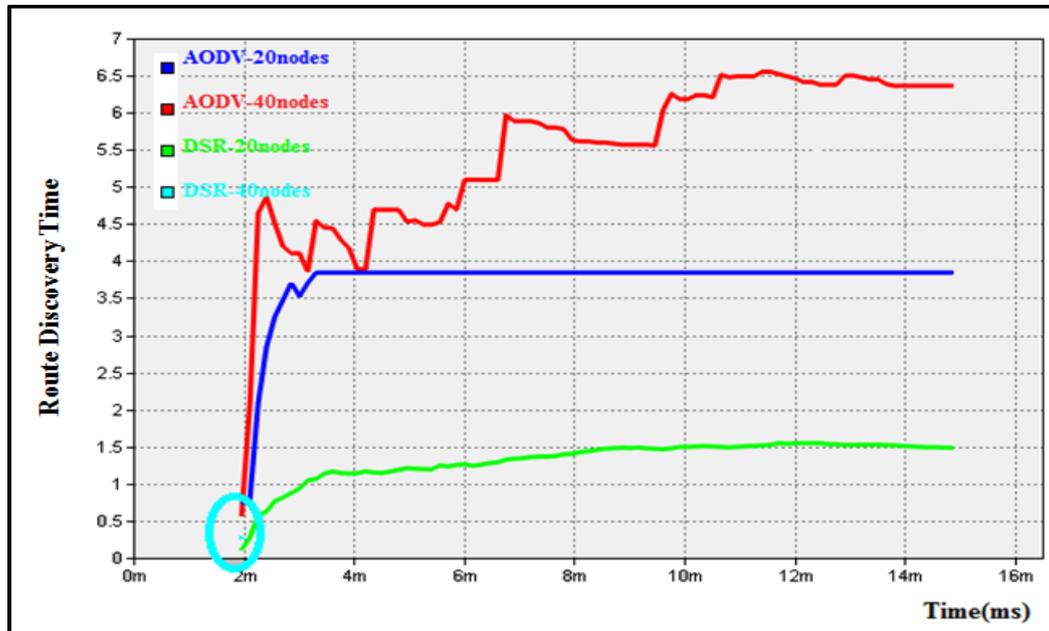


Figure IV.33: Temps de découverte dans protocole réactive

IV.4 Analyse et interprétation :

Dans ce travail, Nous avons créé deux scénarios contenant 20 et 40 nœuds mobiles avec des paramètres de simulation optimale.

Nous voulons étudier et analyser l'impact de la densité des nœuds sur les performances des protocoles de routage avec le modèle de mobilité random way point.

Nous avons testé et évalué, les différents résultats obtenus, avec une comparaison entre les résultats simulés de deux scénarios (20, 40 nœuds mobiles), par une évaluation des aspects des performances, à travers des graphes d'évaluation résultant de l'exécution de scénarios, nous avons cherché les valeurs optimales et le protocole qui augmente les performances de réseau.

Pour cela nous avons adopté plusieurs métriques pour évaluer les performances du réseau MANET.

IV.4.1 Comparaisons entre les protocoles des routage manet dans 20noeuds :

Chapitre IV Simulation des Réseaux des capteurs sans fil

En basant sur les résultats des tableaux IV.5 et IV.6, le Protocole hybride (GRP) est le plus mauvais protocole compte tenu de cinq mesures des métriques de performances Wireless LAN.

D'après les valeurs des métriques d'évaluations présentées dans ces tableaux, nous pouvons voir que le DSR est le plus optimal choix lorsque l'on considère les quatre métriques : temps d'accès au médium, délai, débit et charge du réseau.

Les valeurs des métriques d'évaluation des performances équilibrées et optimales appartiennent aux protocoles AODV et DSR, puis OLSR. En résumé, on peut dire qu'AODV et DSR fonctionnent mieux que les autres.

Routing Protocol	Media Access Delay (sec)	Delay (sec)	Throughput (kbits/sec)	Load (Kbits/s)	Network load(kbit/s)
AODV(reactive)	0.26	0.15	117.11	125.97	97.53
OLSR(proactive)	0.24	0.16	138.83	73.36,	59.24
DSR(reactive)	4.04	3.69	490.45	234.11	598.33
GRP(Hybrid)	$2 \times 10^{(-4)}$	$2.69 \times 10^{(-4)}$	8.580	2.33	2.33

Tableau IV .5 : Comparaisons entre les protocoles selon les métriques des wireless LAN

Basé sur le tableau ci-dessous, les protocoles réactifs (DSR et AODV) sont les meilleurs comptes tenus de trois métriques sous le trafic Voice (trafic reçu, trafic émis, temps de bous en bout), par la suite le protocole OLSR et GRP.

Routing Protocol	Traffic sent (paquet/sec)	Packet end-to-end -Delay (sec)	Traffic received (paquet/sec)
AODV (reactive)	2103.17	8.30	1.00
OLSR (proactive)	1767.76	7.06	0.44
DSR(reactive)	1793.6	11.52	0.21
GRP (hybrid)	2244.67	6.21	0.00

Tableau IV .6 : Comparaisons entre les protocoles selon les métriques du trafic voix.

IV.4 .2 Comparaison entre les protocoles des routage manet pour 40noeuds :

Chapitre IV Simulation des Réseaux des capteurs sans fil

En basant sur les tableaux IV.7 et IV.8, on constate qu'en augmentant le nombre de nœuds on remarque une dégradation des métriques des performances d'évaluation du protocole réactif DSR qui devient un mauvais choix si on considère les métriques (temps d'accès au médium, délai, nombre de paquets routés, débit).

Les protocoles hybrides (GRP), réactif AODV et proactif OLSR présentent des métriques optimales et si meilleures dans le cas de 40 nœuds.

Routing Protocol	Media Access Delay (sec)	Delay (sec)	Throughput (kbit/sec)	Load (kbit/sec)	Network load (kbit/sec)
AODV (reactive)	3.57	1.67	383.01	84.83	56.88
OLSR (proactive)	0.00	0.00025	0.46	0.19	0.19
DSR(reactive)	0.000	0,000	0,000	0.00	0.000
GRP(hybrid)	4.53	2.69	489.54	3736.64	99.28

Tableau IV .7: Comparaison entre les protocoles selon les métriques des wireless LAN.

Routing Protocol	Traffic sent (paquet/s)	Traffic received (pq/s)	Packet end-to-end –Delay (s)
AODV (reactive)	301.78	45.25	0.00
OLSR (proactive)	3010.45	0.00	2.66
DSR(reactive)	0.00	0.00	0.00
GRP(hybrid)	3306.51	11.24	5.62

Tableau IV .8: Comparaisons entre les protocoles selon les métriques des performances du trafic voix.

IV.4 .3 Comparison entre 20 noeuds et 40 nœuds (Les protocoles de routage) :

D'après les résultats des tableaux IV.9 et IV.10, nous remarquons que le protocole de routage AODV a la charge du réseau de bout en bout la plus faible par rapport au DSR. Aussi, ADOV a un débit moyen maximum et le trafic reçu comme le DSR.

Chapitre IV Simulation des Réseaux des capteurs sans fil

Le protocole de routage DSR ne s'adapte pas bien avec les réseaux de grande taille. Les résultats de la simulation ont également montré qu'AODV est le mieux adapté aux réseaux MANET de grande densité de nœuds, alors que DSR a une qualité de service très faible en haute réseaux de nœuds peuplés sous les données de trafic voix GSM.

Nous remarquons que les protocoles réactifs (AODV, DSR) sont les plus performants et optimaux dans les deux scénarios selon les cinq mesures des métriques dans Wireless LAN, suivi par le protocole hybride (GRP), et puis protocole est proactive (OLSR).

Routing Protocol	Media Access Delay (sec)	Delay (sec)	Throughput (kbits/sec)	Load (Kbits/s)	Network load(kbit/s)
AODV (20)	0.26	0.15	117.11	125.97	97.53
OLSR (20)	0.24	0.16	138.83	73.36	59.24
DSR (20)	4.04	3.69	490.45	234.11	598.33
GRP (20)	$2 \times 10^{(-4)}$	$2.69 \times 10^{(-4)}$	8.580	2.33	2.33
AODV (40)	3.57	1.67	383.01	84.83	56.88
OLSR (40)	0.00	0.00025	0.46	0.19	0.19
DSR (40)	0.000	0,000	0,000	0.00	0.000
GRP (40)	4.53	2.69	489.54	3736.64	99.28
AODV (20)[26]	1.2	0.80	110.98	125.00	90.00
DSR (20) [26]	4.5	4.20	785.50	4000.00	8.000
OLSR (20) [26]	1.18	0.80	800.000	100.00	7.500
GRP (20) [26]	1.25	1.02	9.200	180.00	15.00
AODV (20) [27]	--	--	42.000	--	40.000
DSR (20) [27]	--	--	110.000	--	65.000
AODV (40) [27]	--	--	80.000	--	70.000
DSR (40) [27]	--	--	60.000	--	120.000

Tableau IV .9 : Comparaison entre les deux scénarios selon les métriques wireless LAN

Le tableau IV.10 présente les performances des protocoles de routage réactifs, proactifs et hybrides du réseau MANET sous un trafic purement multimédia dont les nœuds mobiles transmettant des données sur un trafic vocal GSM.

En basant sur ces résultats, les protocoles fonctionnant mieux dans le second meilleur scénario (40 nœuds) sont AODV, OLSR et DSR.

Routing Protocol	Traffic sent (paquet/sec)	Packet end-to-end Delay (sec)	Traffic received (paquet/sec)
AODV (20)	2103.17	8.30	1.00
OLSR (20)	1767.76	7.06	0.44
DSR(20)	1793.6	11.52	0.21
GRP (20)	2244.67	6.21	0.00
AODV (40)	301.78	45.25	0.00
OLSR (40)	3010.45	0.00	2.66
DSR(40)	0.00	0.00	0.00
GRP(40)	3306.51	11.24	5.62

Tableau IV .10 : Comparaison entre les deux scénarios selon les métriques du trafic (voix)

IV.4.4 Synthèse :

Ce travail et les études consultées de la littérature montrent qu'il n'y a pas un protocole idéal. Chaque protocole a ses avantages et ses inconvénients. Les comportements des protocoles diffèrent selon les scénarios choisis.

Plusieurs facteurs peuvent changer, comme la mobilité, le nombre de nœuds et la quantité de trafic à acheminer.

Vu que le rôle principal de chaque protocole de routage est la livraison du plus grand nombre de paquets possible dans des délais minimums et en gardant un débit moyen élevé.

Une évaluation des protocoles réactifs AODV, DSR des protocoles proactifs OLSR et des protocoles hybrides GRP est établie en fonction du nombre de nœuds (20 ; 40) caractérisé par une mobilité constante de 10 m/s.

- Le résultat de la simulation dans les tableaux et les graphes obtenus précédemment, montrent que le protocole réactifs AODV, DSR optimisé et plus performant.
- La courbe de débit montre qu'OLSR, AODV et ont des résultats proches pour 20 nœuds, le DSR présente un débit plus élevé.
- Les valeurs du débit présentés montrent que le débit par rapport au nombre de nœuds augmente pour les protocoles AODV, OLSR, GRP. on remarque qu'à

chaque fois on augmente le nombre de nœuds le débit diminue dans le cas de OLSR, car dans OLSR la recherche d'une route est faite à l'avance.

- La courbe délai de bout en bout montre qu'OLSR possède le délai minimal par rapport aux AODV et DSR
- Le protocole AODV est mieux adapté pour les réseaux de capteurs sans fil de grande taille.
- Le protocole AODV est efficace pour les applications temps réel qui exigent un seuil minimal de débit.
- DSR a une qualité de service très faible en haute densité de nœuds.
- En augmentant le nombre de nœuds dans le réseau, OLSR garde toujours un taux de paquets livrés satisfaisant.
- Le protocole OLSR est adapté aux réseaux denses de taille moyenne

Le comportement des protocoles (AODV, OLSR, DSR, GRP) dépend du modèle de mobilité et le type du trafic utilisé surtout lorsqu'il s'agit des faibles densités de nœuds.

- Nos résultats sont comparés aux travaux publiés [26] et [27]. Les scénarios de ce travail sont conçus par des nœuds mobiles en choisissant une trajectoire arbitraire. Les résultats de ce travail sont un peu différents pour certaines métriques et ils sont meilleurs pour le délai et le temps d'accès au médium.

IV.5 Application des RCSF:

IV.5.1 Conception et création d'une maison intelligente:

L'internet des objets (IOT) et le réseau de capteurs sans fil (WSN) peuvent servir à installer et à concevoir une maison intelligente. On connecte les appareils de la maison à Internet par Wi-Fi pour être à distance, contrôlée et surveillée.

La technique WSN regroupe des capteurs et actionneurs qui détectent et collectent des données de différentes parties de la maison intelligente et nous les plaçons à un emplacement central.

La conception et la mise en œuvre de la maison intelligente ont été introduites en utilisant les technologies IOT et WSN.

La conception a d'abord été simulée l'aide du logiciel de simulation Cisco Packet Tracer.

Les différents appareils et capteurs utilisés permettent de mettre en œuvre les fonctions de sécurité et de contrôle de la maison connectée.

Puis ils ont été simulés, mis en œuvre et testés pour les contrôler. Fiabilité dans l'implantation de la maison intelligente.



Figure IV.34 : la maison intelligente.

IV.5.2 Composants du réseau à l'intérieur de la maison :

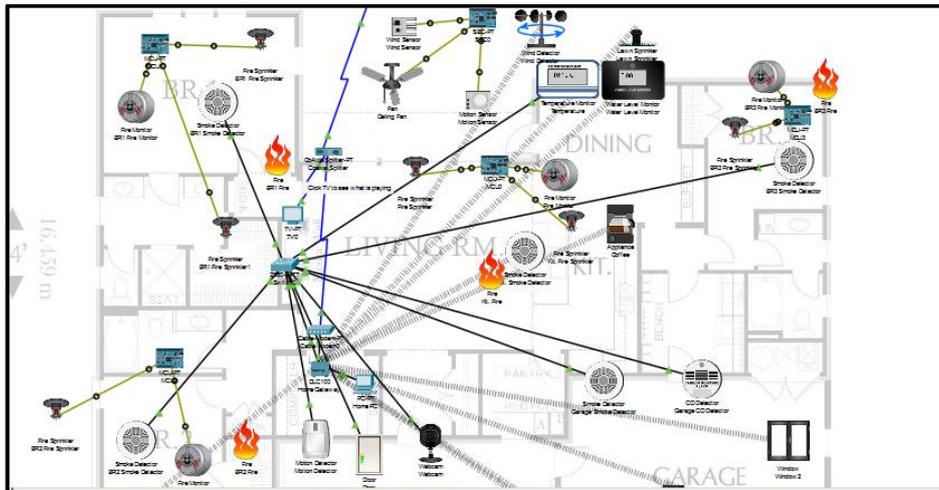


Figure IV.35 : Connectivité des composants Smart Home.

Le système proposé est utilisé pour contrôler et surveiller les différents appareils à l'aide d'un Smartphone.

Dans cette section, la partie simulation est introduite. Le logiciel Cisco Paquets Tracerversion7.3.1 est utilisé pour simuler les composants de notre système. Le système, la connectivité et le fonctionnement peuvent être simulés en temps réel.

Les différents objets intelligents sont disponibles dans Cisco Packet Tracer qui peuvent être configurable et programmable.

Un routeur sans fil de passerelle a été utilisé pour connecter tous les composants et appareils via le réseau Wi-Fi.

Chaque l'appareil doit être enregistré sur le réseau en attribuant une adresse IP. Le serveur peut contrôler et surveiller tous les appareils dans le réseau. Il dispose d'un point d'accès sans fil qui peut être configuré avec SSID.

Les protocoles de cryptage WEP / WPA-PSK / WPA2 sont choisis pour configurer la passerelle du serveur dans le but de protéger et sécuriser la connexion sans fil, comme illustré à la Figure IV.36.

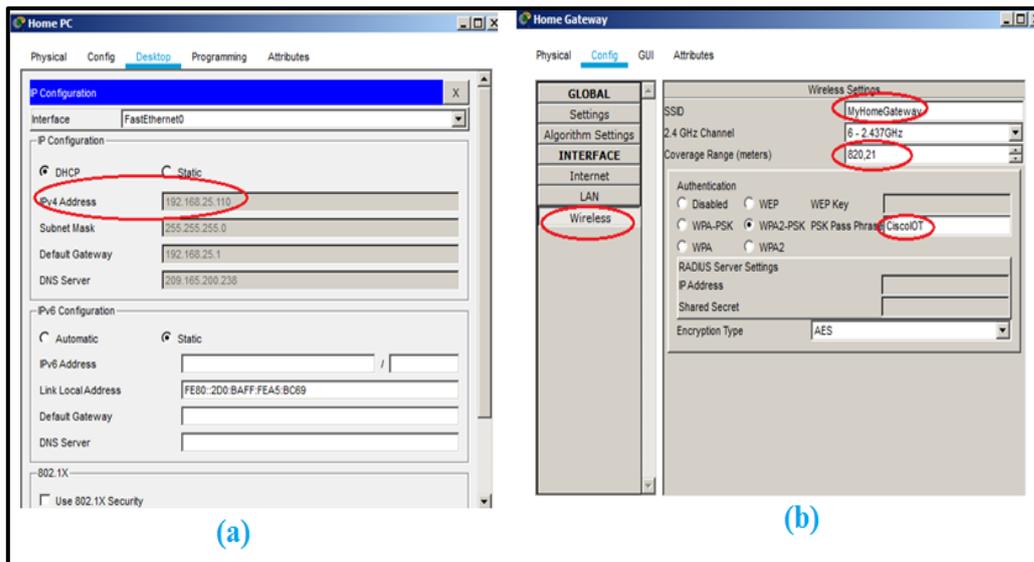


Figure IV.36 : Page de configuration de Home Gateway

- La Figure IV.37 montre un Schéma montrant la communication avec l'intranet domestique

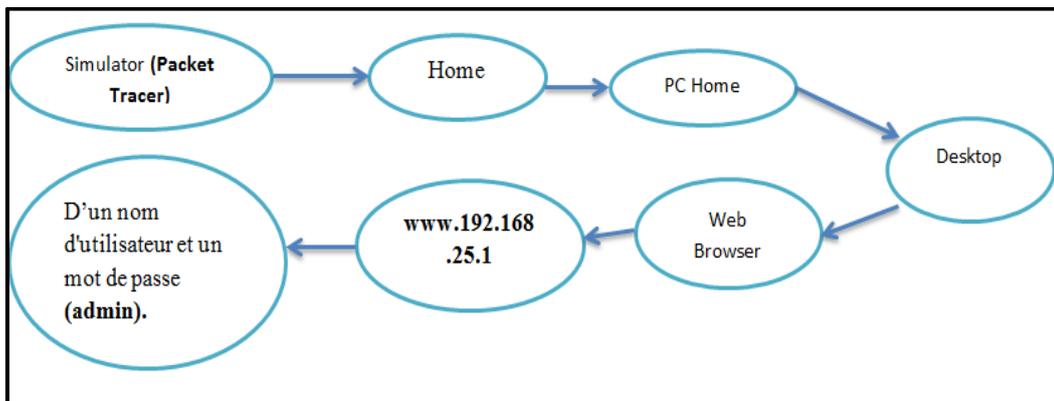


Figure IV.37 : Schéma montrant comment communiquer avec l'intranet domestique

- Figure IV.38 présente la liste des appareils connectés à la maison passerelle. Les appareils peuvent être accessibles à partir du PC de la maison par accès à l'IP privée du réseau interne de la passerelle d'accueil adresse. Les appareils peuvent être contrôlés et surveillés par le PC.

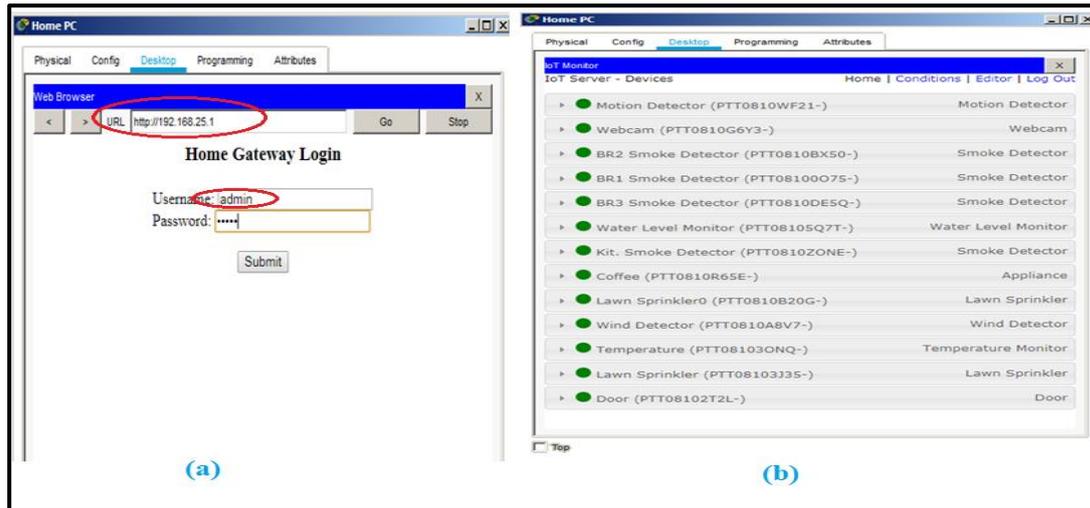


Figure IV.38 :(a) Configuration du Home PC montrant SSID et mot de passe, (b) Liste des appareils domestiques connectés et accessibles via le PC Home Gateway

IV.5.2.1: Le système d'incendie :

Le système d'incendie peut également être contrôlé et connecté au réseau IOT domestique. Comme le montre la Figure IV.39, le moniteur d'incendie et des détecteurs de fumée sont connectés à l'extincteur automatique.

Le feu l'arroseur sera activé automatiquement après avoir détecté de la fumée et envoyer des sons d'alarme.

La figure montre que les gicleurs sont actifs avec simulation d'eau lors de l'activation de la simulation d'incendie dans Cisco Packet Tracer en appuyant sur la touche ALT avec le feu icône de simulation.

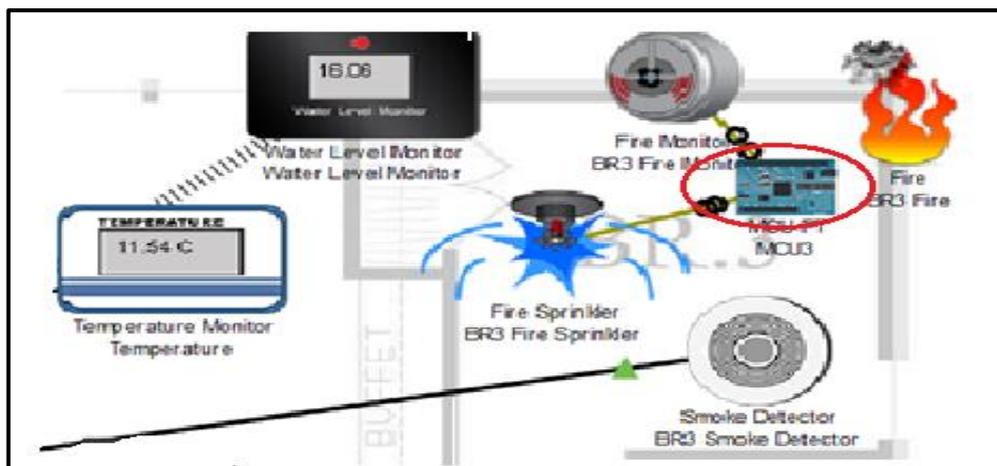


Figure IV.39 : La connectivité et la simulation du système incendie

- Les appareils domestiques peuvent être contrôlés en les connectant à microcontrôleurs (MCU), actionneurs et capteurs. La figure IV.40 présente la configuration de MCU3.

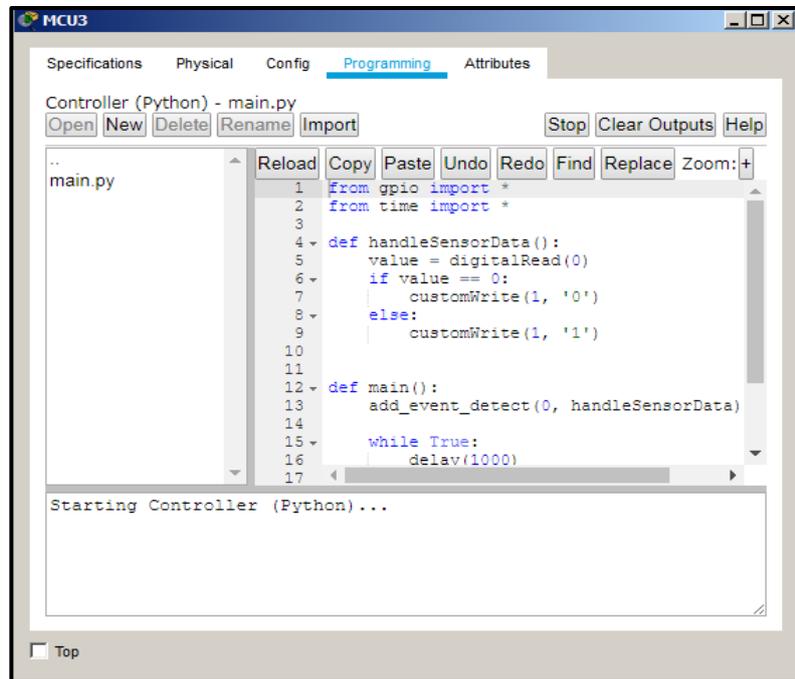


Figure IV.40 :la configuration de MCU3.

IV.5.2.2 Capteur de mouvement et Capteur de vent :

Comme représenté sur la Figure IV.41, une seule carte, capteur de vent et capteur de mouvement connecté au ventilateur de plafond à l'état OFF.

Si une motion je détecté par le capteur de mouvement, et si aucun vent n'est détecté à un certain niveau prédéfini, le ventilateur fonctionnera automatiquement.

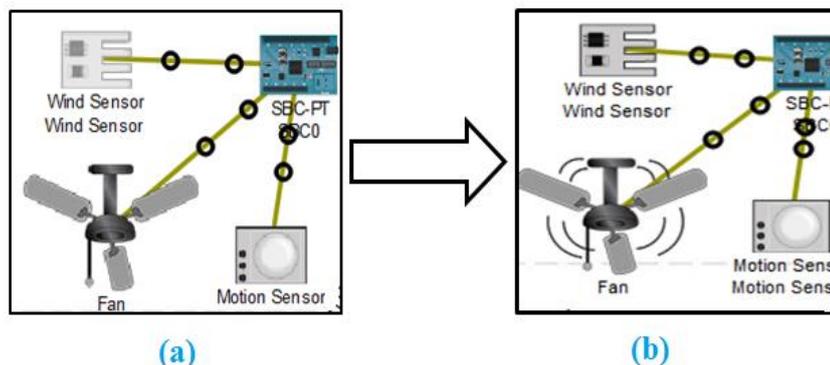


Figure IV. 41 :(a) Capteur de mouvement et Capteur de vent l'état OFF et (b)l'état ON

- La figure IV.42 présente la configuration de SBC0.

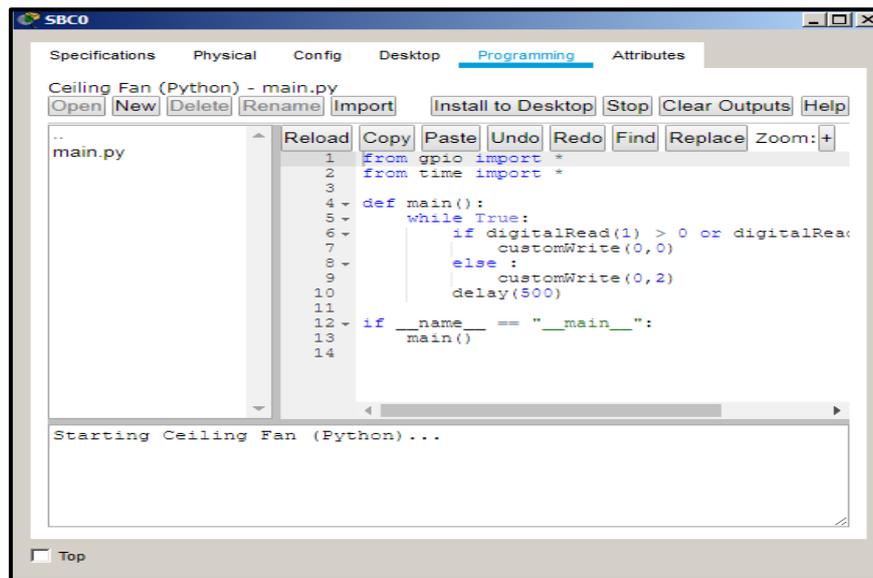


Figure IV. 42 :la configuration de SBC0.

IV.5.2.3 : Connexion du détecteur de mouvement :

La webcam peut également être connectée au réseau domestique pour commencer à enregistrer lorsqu'un mouvement est détecté à travers le mouvement détecteur.

Le détecteur de mouvement sera activé dès qu'il détectera mouvement et envoie un signal à la webcam pour qu'elle soit activée et commencez à enregistrer et à capturer le mouvement qui l'entoure.

La Figure IV.43 présente Connexion du détecteur de mouvement avec une porte de maison à l'état OFF et à l'état ON.

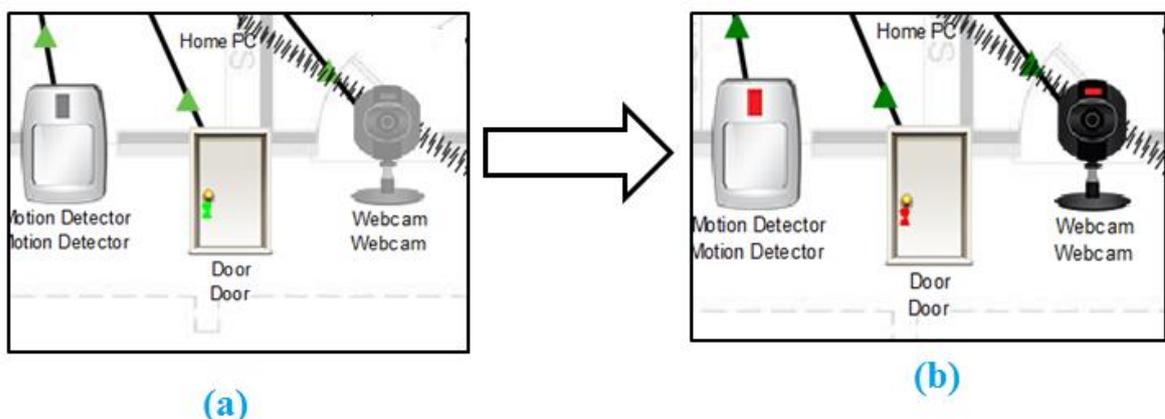


Figure IV.43 : Connexion du détecteur de mouvement avec une porte de maison à l'état OFF (a) et à l'état ON (b)

IV.5.3 Composants du réseau à l'extérieur de la maison :



Figure IV.44: ISP-Internet dans la maison intelligente.

La Figure IV.45 montre la connectivité des composants réseau du réseau à l'extérieur de la maison. Le périphérique de passerelle domestique est connecté à un routeur connecté au fournisseur d'accès Internet réseau (ISP).

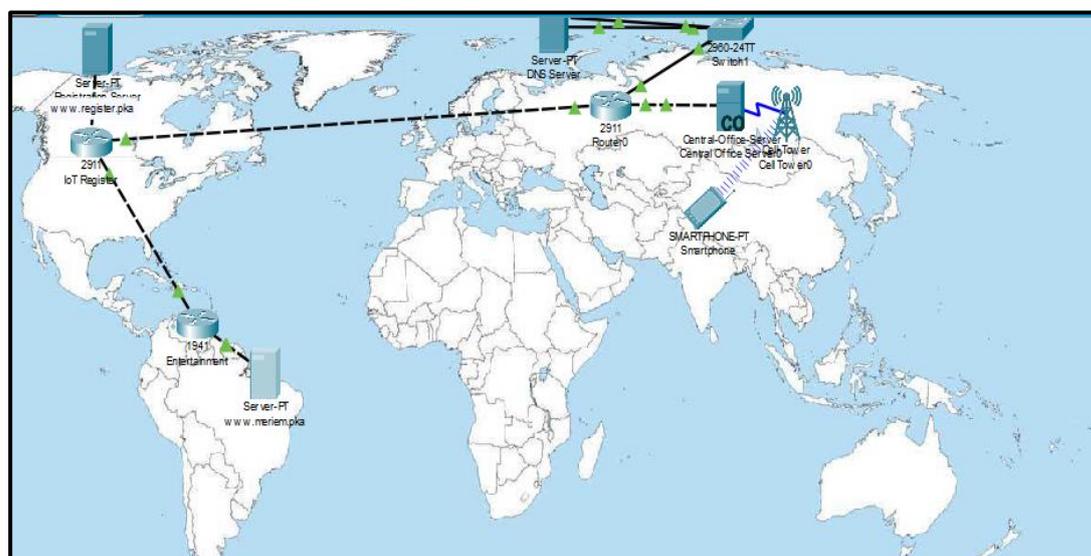


Figure IV.45 : Connectivité réseau externe.

IV.5.3.1 Les Serveurs :

- **Serveur d'enregistrement (Registration Server) :**

Le serveur d'enregistrement est le serveur distant sur lequel tous les appareils domestiques sont enregistrés.

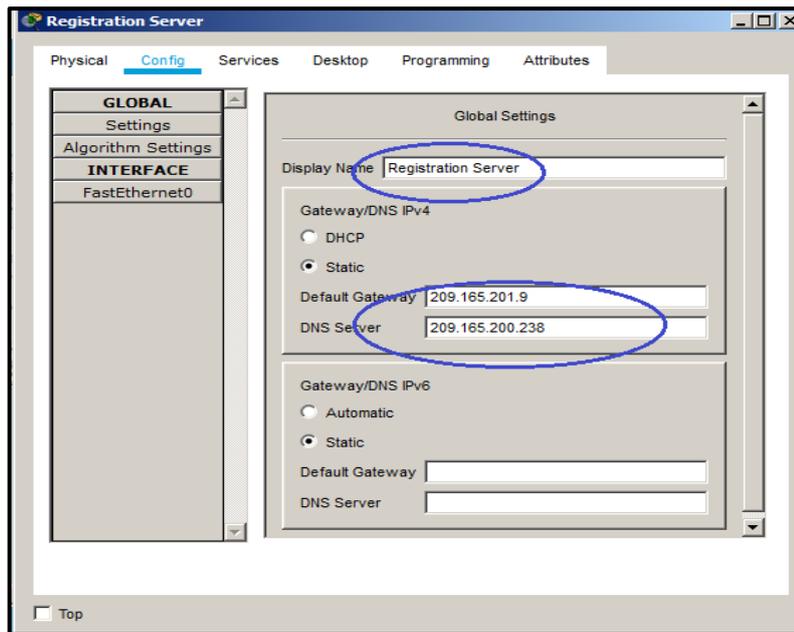


Figure IV.46 : Configuration de Serveur d'enregistrement

- **Serveur DNS (DNS Server):**

Dans les figures IV 47 et IV.48 représente une description de serveur DNS.

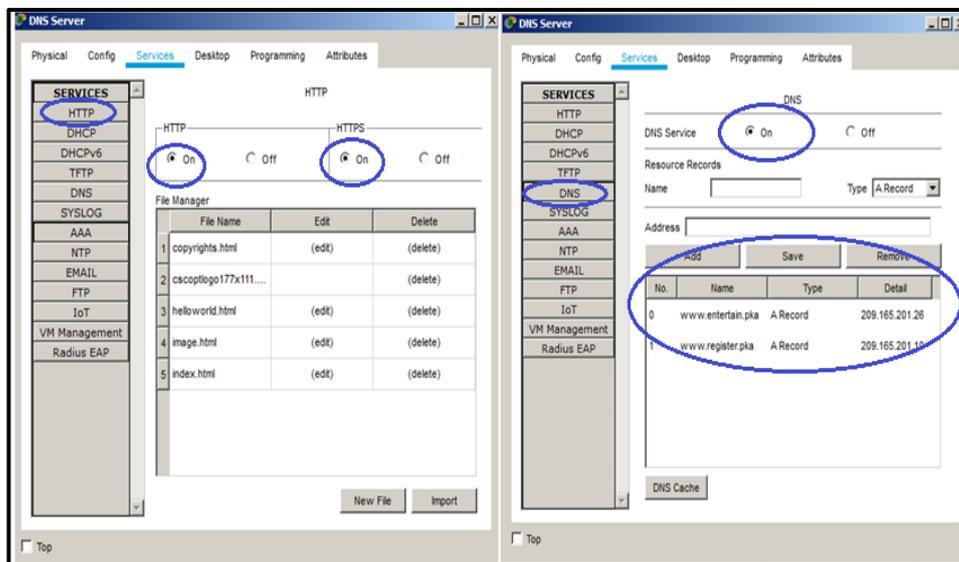


Figure IV.47 : Configuration de serveur DNS.

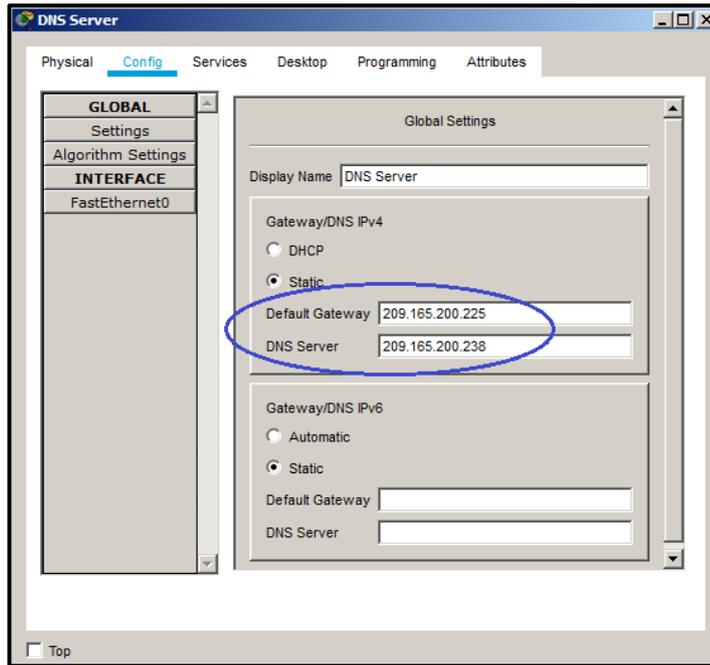


Figure IV.48 : configuration de serveur DNS.

- Le lien : www.entertain.pka :

Dans la figure IV.49 représente la configuration de serveur www.entertain.pka.

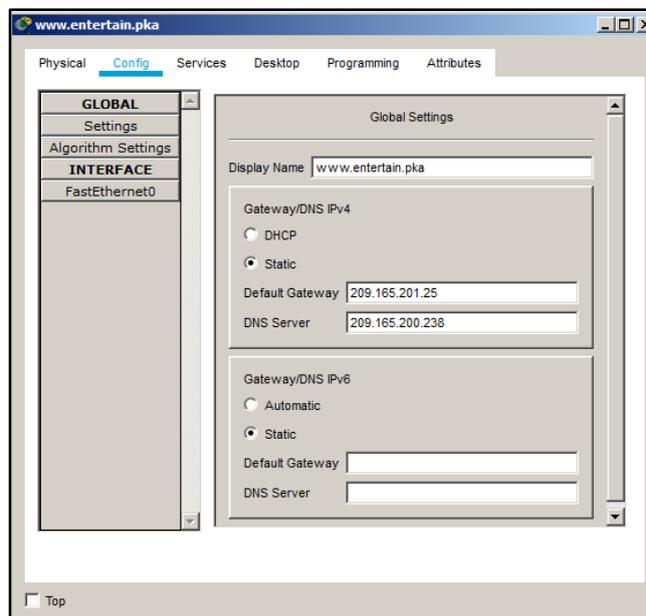


Figure IV.49 : serveur www.entertain.pka.

- **Serveur de central (Central Office Server) :**

La figure IV.50 représente IP adresse et Subnet Mask de Serveur de central.

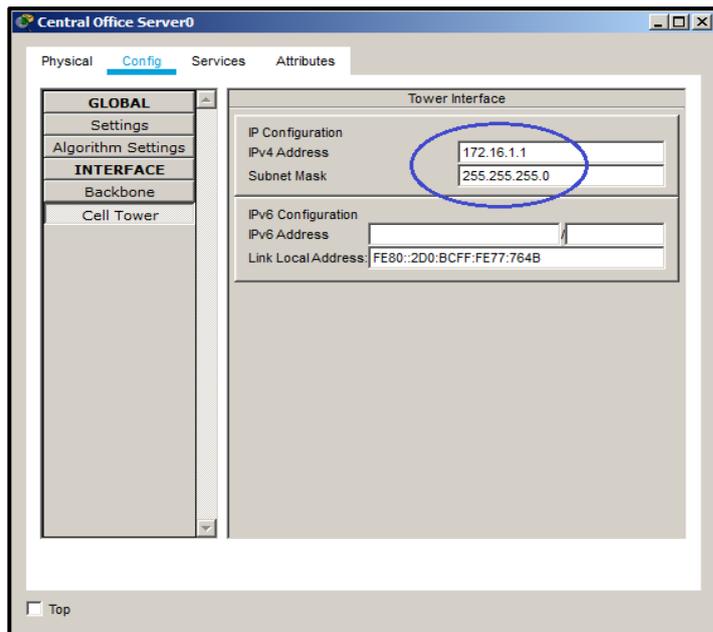


Figure IV.50 : Serveur de central.

IV.5.3.4 les routeurs et commutateurs (router and switch):

- Dans la partie (a) représente la description et la configuration de routeur, et la partie(b) représente la description et la configuration de commutateurs(Entertainment).

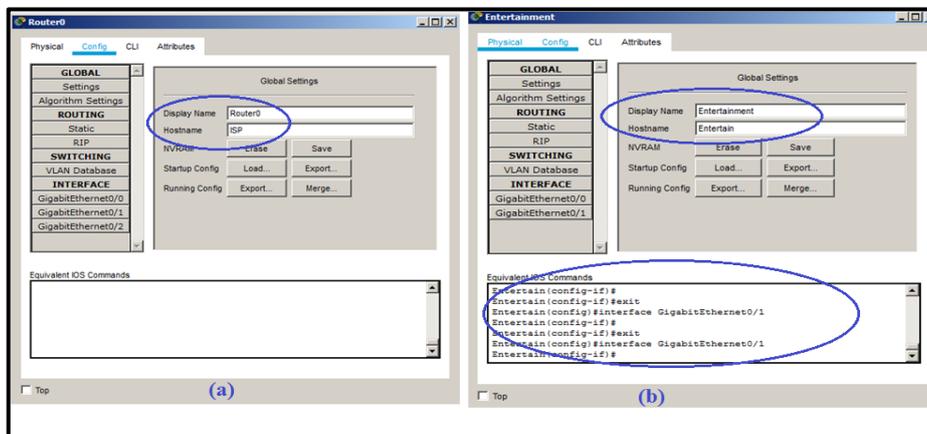


Figure IV.51 : (a) configuration de routeur et (b) configuration de commutateurs(Entertainment).

- La partie (a) décrit et configure le routeur (IoT Register), et la partie(b) décrit et configure les commutateurs (Switch0).

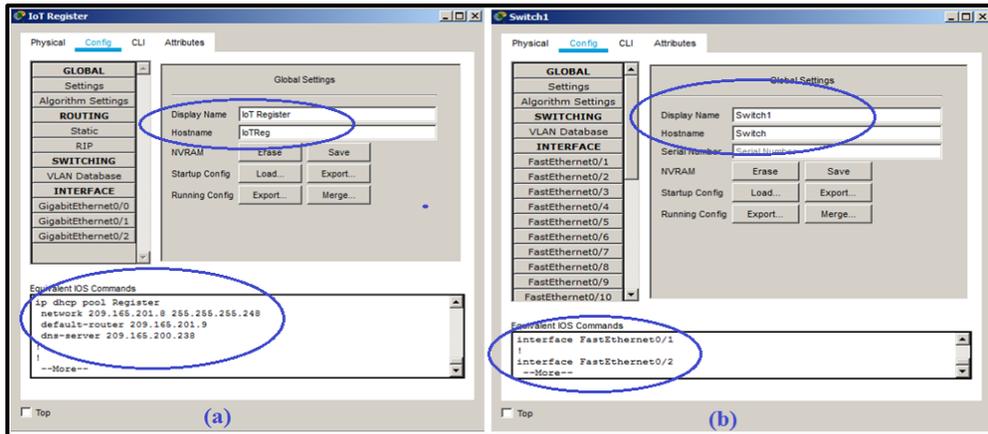


Figure IV.52:(a) configuration de routeur (IoT Register) et (b) configuration de commutateurs(Switch0).

- L'image représente Figure IV.53Schéma montrant comment communiquer avec le réseau à l'extérieur de la maison.

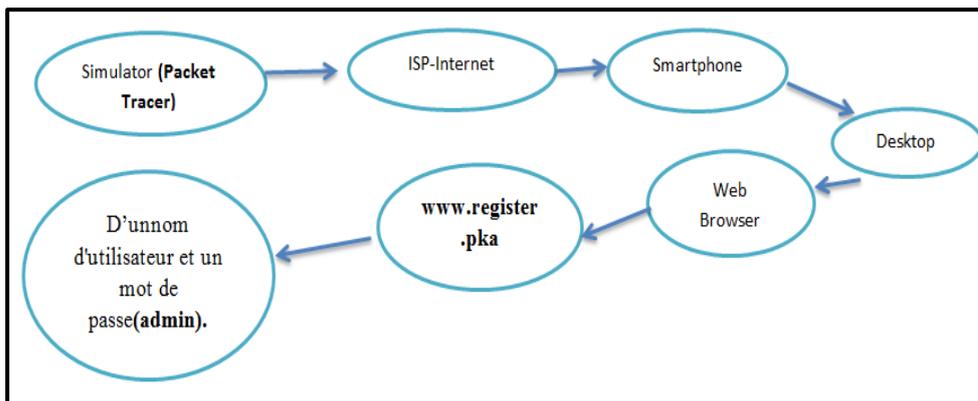


Figure IV.53 : Schéma montrant comment communiquer avec le réseau à l'extérieur de la maison.

- FigureIV.54 présente la liste des appareils connectés à la maison passerelle. Les appareils peuvent être accessibles à partir du PC de la maison par accès à l'IP privée du réseau interne de la passerelle d'accueil adresse.

Les appareils peuvent être contrôlés et surveillés par le smartphone.

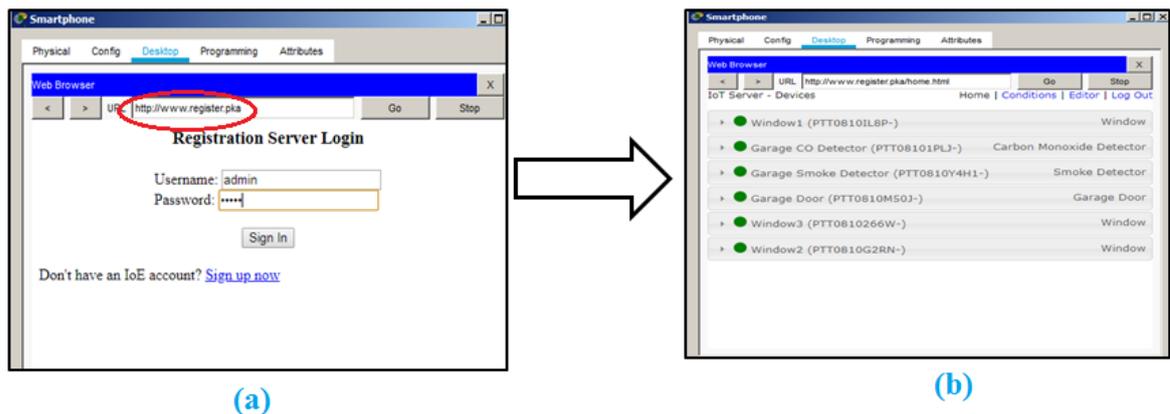


Figure IV.54 :(a) D'un nom d'utilisateur et un mot de passe de Smart phone Et (b) Liste des appareils domestiques connectés accessibles via le Smartphone

- Le garage peut également être connecté au réseau connecté des détecteurs de fumée et de dioxyde de carbone (CO).

Les détecteurs enverront un signal aux fenêtres et à la porte du garage être ouvert si de la fumée et du CO sont détectés à un niveau prédéfini pour aérer la pièce.

Le Figure IV. 55 présentent le système de garage simulation lorsque la voiture est en état OFF ou ON, où les fenêtres et les portes du garage sont ouvertes lorsque la voiture roule provoque des émissions de fumée et de CO à un niveau prédéfini.

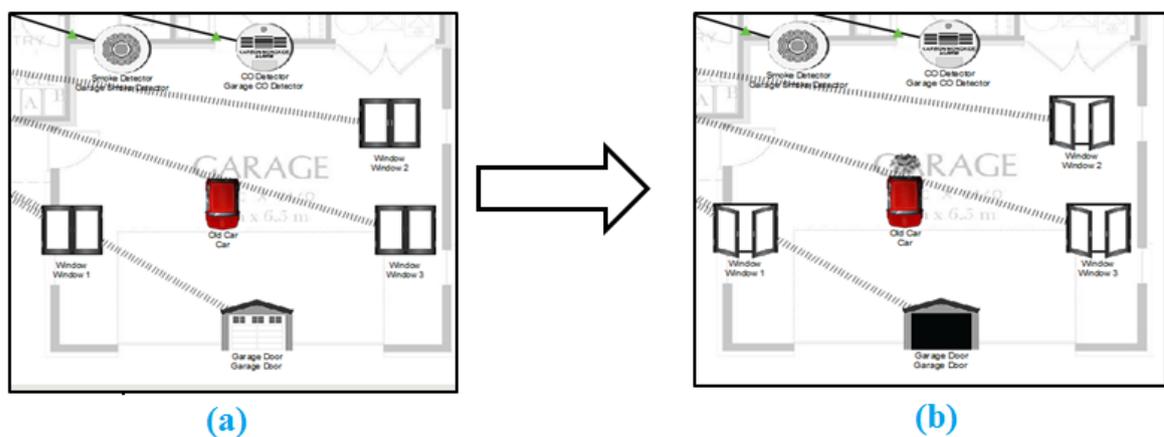


Figure IV. 55 : (a)La connexion du système Garage avec la simulation de voiture à l'état OFF et l'état(b) ON.

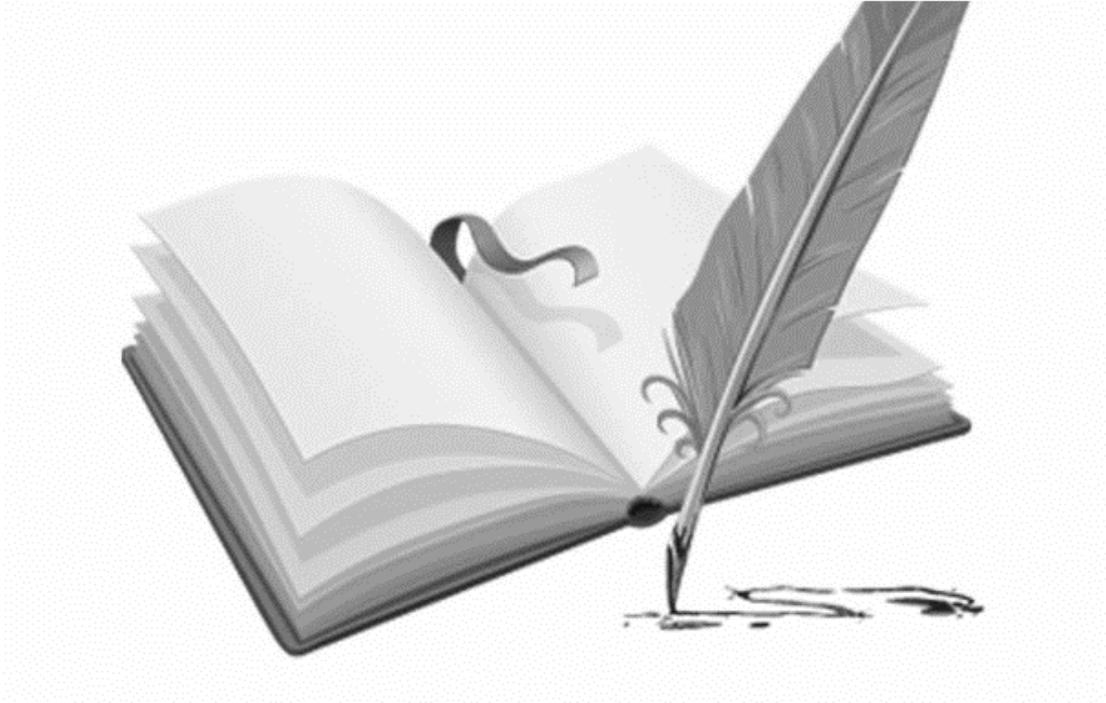
IV.6. Conclusion :

Ce chapitre contient deux parties de simulation. Dans la première partie, nous avons simulé, analysé et évalué les performances des différents protocoles de routage réactif, proactifs et hybrides du réseau MANET en utilisant le logiciel de simulation OPNET 14.5 en présentant quelques métriques des performances

Dans la seconde, nous avons simulé et mis en œuvre une maison intelligente (Smart Home) en utilisant les technologies des RCSF (WSN) et l'internet des objets (IoT).

La simulation a été effectuée à l'aide du simulateur Cisco Packet Tracer 7.3.1. Cette version comprenait différents capteurs (de mouvement, température, détecteurs de fumée et de dioxyde de carbone...etc.) et différents composants nécessaires pour l'internet des objets IoT utilisés pour la domotique.

Conclusion générale



Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont les nouvelles technologies après les grands progrès technologiques concernant le développement des capteurs intelligents, des processeurs puissants et des protocoles de communications sans fil.

Ce type de réseau composé de certaines ou de milliers d'éléments, a pour but de la collecte de données de l'environnement, leur traitement et leur dissémination vers le monde extérieur.

Les applications des réseaux de capteurs sans fil sont nombreuses. Elles comprennent différents domaines : agricole, militaire.... Pour que ces réseaux puissent mener à bien leurs missions ils doivent assurer un certain niveau de sécurité qui différent selon l'application déployée.

Plusieurs approches de routage ont été proposées afin de garantir une convergence de données, un choix optimal des trajets et un routage fiable dans un environnement dynamique. Les protocoles proactifs cherchent à maintenir une vue globale du réseau au niveau de chaque station visent à fixer toutes les routes optimales vers tous les autres nœuds dans le réseau et à rendre le tableau de routage disponible à tout moment. Alors que dans l'approche réactive avec son mécanisme de recherche de route sous demande a pour but de réduire la charge de trafic de contrôle dans le réseau.

Les protocoles hybrides combinent entre les deux approches réactives et proactives dans l'établissement des routes afin d'en tirer les avantages de déploiement de deux mécanismes.

Mais malgré toutes ces caractéristiques, il reste un nombre de problèmes à résoudre dont celui du routage. Pour cela plusieurs protocoles de routage ont été développés ces dernières années

Ce travail entre dans le cadre de l'étude et la simulation de réseau des capteurs sans fils par le simulateur des réseaux OPNET.

L'objectif de ce travail était d'évaluer les performances des protocoles de routage proactifs (OLSR), réactifs (AODV, DSR) et hybrides (GRP) du réseau MANET et analyser leur fonctionnement à l'aide d'un simulateur des réseaux OPNET

14.5 et utiliser la technologie des RCSF et IOT dans une application domotique en utilisant le logiciel Cisco Packet Tracer.

Pour cela, nous avons débuté par un état de l'art sur les réseaux sans fil et les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) où nous avons étudié plusieurs aspects liés à ses réseaux, allant des constitutions et des caractéristiques des capteurs, leurs architectures protocolaires et leurs domaines d'applications. Ensuite, nous avons donné un aperçu sur les classifications les plus connues des protocoles de routage et les caractéristiques de chaque classe, puis une présentation détaillée des protocoles de routage AODV, DSR, OLSR, GRP qui appartiennent à trois classes : réactif, proactive et hybride.

Dans la dernière étape, des simulations et des évaluations des protocoles réactifs AODV, DSR, des protocoles proactifs OLSR et des protocoles hybrides GRP sont établies en fonction du nombre de nœuds

Nous avons simulé deux scénarios contenant 20 et 40 nœuds mobiles sur une surface de 5km x 5 km avec un choix optimal des paramètres de simulation. Nous avons étudié et analyser l'impact de la densité des nœuds sur les performances des protocoles de routage avec le modèle de mobilité random way point ayant une vitesse de déplacement constante de 10 m/s sur le liens Wireless LAN sous un trafic d'application vocal de qualité PCM (PCM quality speech).

Nous avons testé et évalué, les différents résultats obtenus, avec une comparaison entre les résultats simulés des différents protocoles par une évaluation des aspects des performances, à travers des graphes d'évaluation des métriques résultant de l'exécution de scenarios.

Ces métrique d'évaluation des performances constituent les paramètres de routage : (Débit, Charge du réseau, Délai d'accès aux médium, Délai, Nombre de paquets routés...) et QoS voix (temps de bout en bout du paquet, Trafic émis, Trafic reçu...) et le nombre de saut par route et le temps de découverte de la route.

D'après notre étude, nous concluons que

- Le protocole AODV est mieux adapté pour les réseaux de capteurs sans fil de grande taille. Le protocole AODV est efficace pour les applications temps réel qui exigent un seuil minimum de débit.
- DSR a une qualité de service très faible en haute densité de nœuds.

- AODV s'adapte mieux au passage à l'échelle (densité) par rapport à DSR.
- En augmentant le nombre de nœuds dans le réseau, OLSR garde toujours un taux de paquets livrés satisfaisant.
- Le protocole OLSR est adaptés aux réseaux denses de taille moyenne
- Dans des réseaux moyens, OLSR et AODV sont équivalents. Lors de communications courtes, OLSR a un énorme avantage sur AODV car les routes sont disponibles immédiatement.

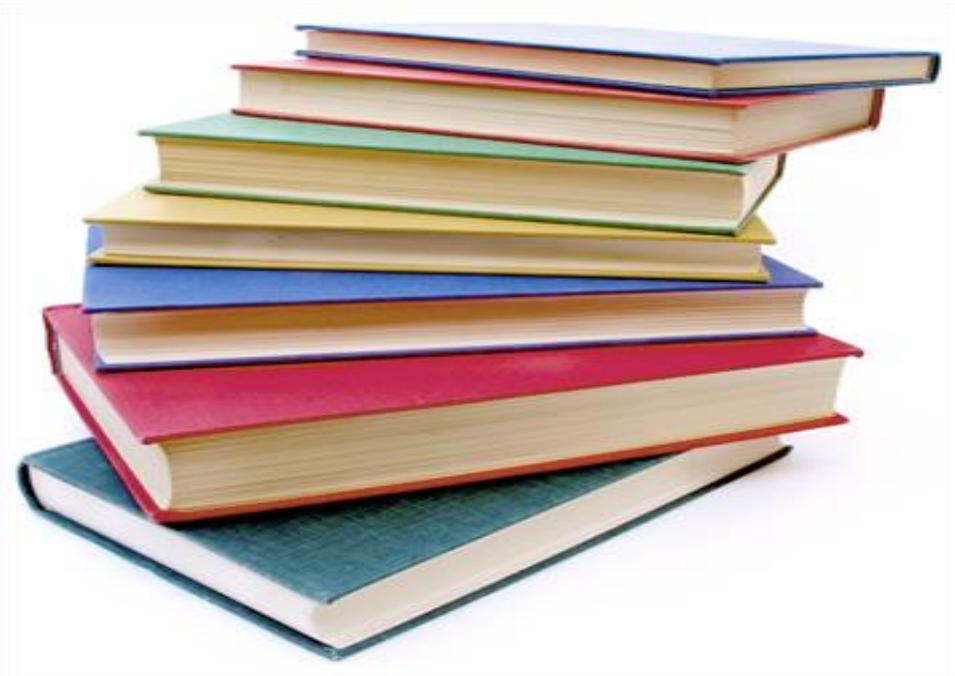
Enfin, ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des réseaux capteurs sans fil, ils sont une réalité fonctionnelle et sont appelés à évoluer rapidement en raison de la grande diversité des domaines d'application.

Comme perspectives de ce projet nous souhaiterons :

- Perfectionner nos simulations en considérant d'autres métriques comme le taux de délivrance des paquets le niveau d'énergie de chaque nœud
- L'extension de nos simulations aux autres protocoles de routage du groupe MANET à savoir les protocoles hybride TORA, EMEP, ZRP
- Etudier l'impact de la distance entre émetteur et récepteur.
- D'évaluer les performances des protocoles de routage avec différents modèles de mobilité réalistes et différents types de trafic notamment le trafic de type TCP.
- Etendre l'étude à d'autres types de trafic vidéo
- Implémenter le protocole de routage optimal sur des capteurs réels
- Développé une solution de sécurité adaptés aux RCSF.
- Améliorer le taux de transfert des données
- Etendre à la métrique gigue qui est l'une des paramètres les plus intéressants à considérer dans la communication temps réel.
- Extension des résultats aux réseaux larges.

Références

Bibliographiques



- [1] Ons Bouachir, « Conception et mise en œuvre d'une architecture de communication pour mini-drones civils », Thèse de doctorat, Université de Toulouse 3 Paul Sabatier, 02/12/2014
- [2] Boussad AIT-SALEM, « La Sécurisation des Réseaux Ad Hoc : Systèmes de Confiance et de Détection de Répliques », Thèse de doctorat Spécialité : Informatique, Université de Limoges, 12/07/2011
- [3] Abderrezak Rachedi, « Contributions à la sécurité dans les réseaux mobiles Ad Hoc », Université d'Avignon France, 2012
- [4] **Abderrezak** Benyahia, « Adaptation de TCP aux réseaux sans fil », Université Hadj Lakhdar Batna-, 09/12/2012
- [5] Ahizoune Ahmed, « Un protocole de diffusion des messages dans les réseaux véhiculaires », Thèse de Maîtrise ès sciences (M. Sc.) de l'Université de Montréal, Avril 2011.
- [6] : M. ben Salem et O. Bougoffa, « Etude comparative de deux simulateurs pour les réseaux AD HOC sans fil », Mémoire de Master en Informatique Spécialité : Informatique Industriel, 14/06/2014.
- [7] M Tahar Abbes. « Proposition d'un protocole à économie d'énergie dans un réseau hybride Gsm et ad hoc ». Thèse de doctorat, Université d'Oran, 2012.
- [8] A. Bessaih, S. Bouchakel, and Alaoui. « Routage et simulation dans les réseaux mobiles ad hoc ». Master's thesis, University of Berjaya, 2017.
- [9] H. DKHIL. « Greedy perimeter stateless routing sur omnet++. PhD thesis », Masters thesis, Ecole nationale supérieure d'informatique, Tunisie, 2009 . . .
- [10] Melle. A. Bentabet M. S Ch. Benghelima « L'optimisation du déploiement d'un RCSF pour une application de surveillance de sites » IN Universitaire Belhadj Bouchaib D'Ain Témouchent En 18.6 (2019)
- [11] https://www.researchgate.net/figure/Architecture-dun-reseau-de-capteurs-sans-fil_fig8_27534315 Consulter

- [12] Ian F Akyildiz et al. «Wireless sensor networks: a survey». In : Computer networks 38.4, p. 393–422(2002)
- [13] M. Ben azzouz « Sur vaillance de tout point d'une zone d'intérêt à l'aide d'un réseau de capteur multimédia sans fil magistère IRM » Ecole nationale supérieure d'informatique Oued- Smar Alger Algérie - 2013
- [14] Ali Ben zerbadj. « Cross-layer approach for energy efficiency and reliability In Wireless Sensor Networks dedicated to Critical Applications of Surveillance ». Thèses. Université de Bretagne occidentale - Brest, juil. 2018.
- [15] Ian F. Akyildiz, Mehmet Can Vuran. « Wireless Sensor Networks ». John Wiley & SonsLtd, 2010
- [16] Z. Wassim, « Quelques propositions de solutions pour la sécurité des réseaux de capteurs sans-fil ». Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, Octobre 2010
- [17] C. Duran-Faundez, « Transmission d'images sur les réseaux de capteurs sans fil sous la contrainte de l'énergie ». Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Centre de recherche en automatique de Nancy, Juin 2009
- [18]Priyanka Rawat et al. «Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies». In : The Journal of super computing 68.1, p. 1–48. (2014)
- [19] A. Djedjiga et K. Azamoum, « Optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil, » 2014.
- [20] M. Asim, «Self-Organization and Management of Wireless Sensor Network, » 2010.
- [21] D. NGOM. « Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité ». Thèse de Doctorat. L'Université de Haute Alsace (France) et de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal). 2016.
- [22] Y. Younes. « Minimisation d'énergie dans un réseau de capteurs ». Mém.de mast. Universite mouloud mammeri de Tizi-ouzou, sept. 2012.
- [23] R. Abderrahim et MlleA. Abdelli, Simulation d'un réseau MANET avec OPNET, l'Université de Tlemcen, Année 2014/2015

- [24] K. Kahoul, « Etude et simulation du standard de transmission de donnée sans fil : WIMAX par OPNET comparé avec WIFI », Université de BISKRA Année 2017 / 2018
- [25] J.N. Al-Karaki and A. E. Kamel, «Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey », Magazine: IEEE Communications, vol. 11, N° 6, pp. 6-28, 2004.
- [26]M. Keshtgary and V. Babaiyan, «Performance Evaluation of Reactive, Proactive and Hybrid Routing Protocols in MANET», International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE), Vol. 4 No. 02, pp: 148-2542012
- [27] Vishal Sharma, Harsukhpreet Singhb, Mandip Kaur c, Vijay Bangac, «Performance evaluation of reactive routing protocols in MANET networks using GSM based voice traffic applications», Journal of Optic , vol.124, pp:3013-2016 2013