

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen
Faculté des Sciences
Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études

pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Réseau et Système Distribué (R.S.D)

Thème

**Étude et évaluation des protocoles de
routage géographique dans les réseaux
de capteurs multimédias sans fil**

Réalisé par :

- Khoris Walid
- Bellatreche Younes

Présenté le 22 Juin 2024 devant le jury composé de :

- Mme BENMANSOUR Fazilet (Encadrante)
- M. MANA Mohammed (Président)
- Mme BENMAHDI Bouchra (Examinatrice)

Année universitaire: 2023-2024

Remerciement

Avant tout, nous voulons remercier Allah, le tout-puissant, pour nous avoir donné le courage, la force et la volonté nécessaires pour réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement nos familles, spécialement nos parents, pour leur soutien indéfectible et leur accompagnement tout au long de notre parcours d'études.

Nous remercions **Mme BENMANSOUR Fazilet**, notre encadrante, pour son soutien, ses conseils, et ses orientations qui ont été cruciaux pour mener ce travail.

Nous tenons également à remercier les membres du jury

M. MANA Mohammed & Mme BENMAHDI Bouchra

pour avoir accepté de juger notre travail et pour avoir pris le temps de l'évaluer.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude envers

Mme Labraoui Nabila

ainsi qu'envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Table des matières

Liste des figures	i
Liste des tableaux	ii
Liste des abréviations	iii
Introduction Générale	1
Chapitre I Les réseaux de Capteurs Multimédia Sans Fil.....	4
I.1. Introduction	4
I.2. Les Réseaux de capteurs sans fil	4
I.2.1. Définition d'un capteur sans fil	4
I.2.2. Architecteur physique d'un capteur	5
I.2.3. Définition d'un réseau de capteurs sans fil	6
I.2.4. Types des réseaux de capteurs sans fil :	6
I.3. Les Réseaux de capteurs multimédias sans fil	8
I.3.1. Capteur multimédia.....	8
I.3.2. Caractéristiques	9
I.3.3. L'architecture	10
I.3.4. Pile protocolaire.....	11
I.3.5. Exigences de la QoS	12
I.3.6. Les principaux défis des RCMSF	13
I.3.7. Domaines d'applications	15
I.4. Conclusion	16
Chapitre II Le routage dans les Réseaux de Capteurs Multimédia Sans Fil.....	18
II.1. Introduction.....	17
II.2. Facteurs influant sur la conception d'un protocole de routage.....	17
II.2.1. Consommation d'énergie	17

II.2.2. Scalabilité.....	18
II.2.3. Adressage	18
II.2.4. Robustesse.....	18
II.2.5. Topologie	18
II.2.6. Application.....	18
II.2.7. Diversité des nœuds et des liens.....	19
II.2.8. Média de transmission	19
II.2.9. Connectivité	19
II.2.10. Agrégation de données.....	19
II.2.11. Qualité de service	19
II.3. Métriques de routage.....	20
II.3.1. Consommation énergétique.....	20
II.3.2. Nombre de sauts	20
II.3.3. Perte de paquets.....	21
II.4. Classification des protocoles de routage dans les RCMSF	21
II.4.1. Selon la structure du réseau	21
II.4.2. Selon le fonctionnement du protocole	24
II.4.3. Selon l'établissement des chemins	25
II.5. Routage géographique.....	26
II.5.1. Les stratégies d'acheminement.....	26
II.5.2. Le problème de routage géographique	28
II.5.3. Protocoles de Routage Géographique.....	28
II.6. Conclusion	28
Chapitre III Évaluation du protocole de routage géographique GPSR et de ses dérivés dans les RCMSF	29
III.1. Introduction	29

III.2. Le protocole GPSR	29
III.2.1. Les mécanismes de GPSR	30
III.3. Le protocole CGPSR (Compass GPSR)	32
III.4. Le protocole CGGPSR (Compass Greedy GPSR)	32
III.5. Outils d'évaluation.....	33
III.5.1. Simulateur OMNeT++	33
III.5.2. Framework INET	36
III.5.3. Caractéristiques et fonctionnalités d'INET	36
III.6. Evaluation des protocoles GPSR, CGPSR et CGGPSR	37
III.6.1. Critères d'évaluation	37
III.6.2. Description de la simulation	38
III.6.3. Résultats des simulations	39
III.6.4. Synthèse	42
III.7. Conclusion	42
Conclusion générale et perspectives.....	44
Références Bibliographiques	45

Liste des figures

Figure 1.1 - Exemple d'un capteur sans fil [2]	5
Figure 1.2 - Architecteur physique d'un capteur.....	6
Figure 1.3 - Réseau de capteurs sans fil [1].....	6
Figure 1.4 - Capteur multimédia sans fil [2].....	8
Figure 1.5 - Architecture d'un réseau de capteurs multimédia sans fil [9]	10
Figure 1.6 - Pile protocolaire dans RCMSF [1]	11
Figure 2.1 - Catégories des protocoles de routage de RCMSF	21
Figure 2.2 - Protocole de routage plat [17]	22
Figure 2.3 - Protocole de routage hiérarchique [17]	23
Figure 2.4 - Stratégies d'acheminement	27
Figure 3.1 - Exemple de transmission gloutonne [23]	30
Figure 3.2 - Exemple d'une situation de vide [23]	31
Figure 3.3 - Processus de sélection du prochain saut avec la stratégie Compass [26].....	33
Figure 3.4 - Architecture d'OMNeT++ [29].....	34
Figure 3.5 - Fichier .ned de manière graphique.....	35
Figure 3.6 - Fichier .ned de manière textuelle.....	35
Figure 3.7 - Exemple d'un fichier .ini.....	36
Figure 3.8 - Taux de livraison de paquets en fonction de nombre de nœuds	39
Figure 3.9 - Durée de vie du réseau en fonction de nombre de nœuds	40
Figure 3.10 - Délai moyen en fonction de nombre de nœuds	41
Figure 3.11 - Débit moyen en fonction de nombre de nœuds	42

Liste des tableaux

Tableau 3-1 : Caractéristiques et fonctionnalités d'INET	37
Tableau 3-2 : Paramètres de simulation.....	38

Liste des abréviations

ADC	Analog to Digital Converters
AGEM	Adaptive Greedy-compass Energy-aware Multipath protocol
CGGPSR	Compass Greedy GPSR
CGPSR	Compass GPSR
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semi Conductor
GEAMS	Geographic Energy-Aware Multipath Stream-based routing protocol
GPS	Global Positioning System
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing protocol
IP	Internet Protocol
MAC	Medium Access Control
NED	NEtwork Description
OMNeT	Objective Modular Network Testbed in C++
OSPF	Open Shortest Path First
QoS	Qualité de Service
QoS	Qualité of Service
RCMSF	Réseaux de Capteurs Multimédias Sans Fil
RCSF	Réseaux de Capteurs Sans Fil
TCP	Transmission Control Protocol
TPGF	Two-Phase Geographical greedy Forwarding protocol
UDP	User Datagram Protocol
WMSN	Wireless Multimedia Sensor Networks
WSN	Wireless Sensor Network

Introduction Générale

Introduction Générale

Les réseaux sans fil ont gagné en popularité auprès des communautés scientifiques et industrielles depuis leur apparition, en raison de leurs bénéfices qui les ont rendus indispensables dans les architectures réseau. Au fur et à mesure qu'il se développe, le paradigme sans fil a donné naissance à différentes architectures dérivées, comme les réseaux cellulaires et les réseaux sans fil locaux. Durant les vingt dernières années, la fusion de deux secteurs de l'informatique contemporaine, les systèmes embarqués et les communications sans fil, a engendré la création d'une architecture nouvelle, connue sous le nom de Réseau de capteurs sans fil (RCSF) ou de Wireless Sensor Network (WSN).

Le RCSF (Réseau de Capteurs Sans Fil) se forme en reliant plusieurs capteurs qui ont une unité de détection, une unité de traitement et un module de communication, sans avoir besoin d'une infrastructure fixe. Ils sont positionnés dans des zones d'intérêt sensible ou difficiles d'accès et sont équipés de piles, ce qui limite leur durée de vie. L'objectif principal d'un RCSF est de recueillir régulièrement ou à la demande différents paramètres ou mesures scalaires, tels que la température, la pression et l'humidité, afin de les transmettre aux points de traitement, tels que des puits, des collecteurs ou des stations de base.

Grâce aux avancées technologiques dans la miniaturisation des composants électroniques et à la disponibilité de matériel à bas coût, les nœuds capteurs ont été équipés de modules de collecte d'informations visuelles et audio. Cela engendre une nouvelle génération de réseaux connus sous le nom de Réseaux de Capteurs Multimédias Sans Fil (RCMSF) ou WMSN (Wireless Multimedia Sensor Network). Ce type de réseau a créé de nouvelles problématiques, comme le traitement du trafic multimédia, la gestion de l'énergie, ainsi que la gestion de la QoS (Qualité de Service) telles que la latence, la bande passante, la gigue et la fiabilité.

Les nœuds capteurs collectent l'information environnementale parfois les traitent et les envoient à d'autres nœuds en utilisant une communication multi-saut sans fil jusqu'à atteindre la station de base appelé également le nœud puits. Le protocole de routage mis en place dans la couche réseau assure le transport des données collectées. Dans ce contexte, un défi majeur réside dans le routage efficace des données collectées vers les destinations finales. Les nœuds capteurs, en collectant diverses informations environnementales, doivent être en mesure de les acheminer de manière fiable et efficace vers les stations de base. Cela nécessite une stratégie

de routage qui garantit, à tout moment, un établissement de routes qui soient correctes et efficaces pour acheminer ces données. Pour cela, nous utiliserons des protocoles de routage géographiques qui reposent sur la connaissance de la position de tous les nœuds grâce à un équipement GPS (Global Positioning System).

Le routage dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil (RCMSF) pose des défis importants en raison des exigences spécifiques de ces réseaux, comme la nécessité d'une bande passante élevée, d'un délai de transmission réduit et d'une qualité de service (QoS) fiable pour la transmission de données multimédia.

Dans le routage géographique, diverses stratégies existent pour répondre aux besoins spécifiques des réseaux de capteurs multimédia sans fil (RCMSF). Pour cela, dans notre projet de fin d'études, nous avons évalué les performances du protocole GPSR en utilisant différentes stratégies de routage géographique, notamment Greedy, qui choisit le nœud le plus proche de la destination comme prochain saut. Nous avons également évalué le protocole CGPSR, qui utilise la stratégie Compass pour sélectionner les nœuds situés dans un angle minimal, et le protocole CGGPSR, qui combine les stratégies Compass et Greedy, en sélectionnant des nœuds situés dans un angle spécifique et choisissant parmi eux le plus proche de la destination comme prochain saut. Cette évaluation vise à déterminer quelle stratégie est la meilleure et la plus performante.

Ce mémoire comprend trois chapitres :

Le premier chapitre expose des principes généraux sur les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF). Nous décrivons le capteur sans fil et son architecture, puis examinons les divers types de RCSF. Ensuite, nous nous intéressons aux Réseaux de Capteurs Multimédias Sans Fil (RCMSF) en décrivant le capteur multimédia et en évoquant ses architectures, ses caractéristiques, sa pile protocolaire, ses défis et ses domaines d'applications.

Le deuxième chapitre examine les principaux protocoles de routage utilisés dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil (RCMSF) et les facteurs qui influencent leur conception. Ensuite, nous abordons la classification des protocoles de routage, en mettant l'accent sur le routage géographique et ses méthodes d'acheminement.

Dans le troisième chapitre, nous décrivons le protocole GPSR en expliquant comment il fonctionne. Par la suite, nous présentons les protocoles CGPSR et CGGPSR que nous avons proposé. Ensuite, nous examinons l'outil de simulation OMNeT++ 6.0.2 et le framework INET

4.5.2, en mettant en avant leur intérêt pour notre analyse. Enfin, nous évaluons ces trois protocoles GPSR, CGPSR et CGGPSR en se basant sur divers critères tels que le débit moyen, la durée de vie du réseau, le délai moyen et le taux de livraison.

Chapitre I

Les réseaux de Capteurs Multimédia

Sans Fil

I.1. Introduction

Les réseaux de capteurs multimédias sans fil (RCMSF) ont connu une forte popularité ces dernières années et sont désormais considérés comme l'une des technologies les plus prometteuses pour l'avenir. Ils jouent un rôle essentiel en permettant la capture, le traitement et la diffusion de données multimédias telles que des signaux audios, vidéo et images. Ces réseaux sont largement utilisés dans divers domaines tels que l'armée, la sécurité, la surveillance industrielle ou l'observation des phénomènes naturels.

Dans ce chapitre, nous explorons les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF). Nous commençons par une description du capteur sans fil et de son architecture, puis examinons les différents types de RCSF disponibles. Ensuite, nous nous concentrons sur les Réseaux de Capteurs Multimédias Sans Fil (RCMSF), en détaillant le capteur multimédia, ses architectures, ses caractéristiques, sa pile protocolaire, ainsi que ses défis et ses domaines d'applications.

I.2. Les Réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont une catégorie particulière de réseaux sans fil, avec de nombreux capteurs interconnectés pour surveiller et recueillir des données environnementales.

I.2.1. Définition d'un capteur sans fil

Un capteur est un composant électronique de petite taille qui a une capacité limitée en termes de mémoire vive, processeur et énergie. Il a la capacité de détecter diverses données physiques de l'environnement, comme la température, les vibrations, le son, la pression, les images et l'humidité, et de les transférer vers une station de base ou un puits. La figure 1.1 montre un capteur sans fil.



Figure 1.1 - Exemple d'un capteur sans fil [2]

I.2.2. Architecteur physique d'un capteur

Généralement, un capteur se compose de plusieurs unités de base [3]. La figure 1.2 montre ces unités.

- **Unité d'acquisition** : également connue sous le nom d'unité de capteur. Elle se compose de deux parties : les capteurs (caméra, microphone ou capteur scalaire) et un convertisseur analogique/numérique (ADC). Les capteurs collectent des signaux analogiques en fonction du phénomène observé, puis les transmettent au convertisseur. Ce dernier transforme ces signaux en un format numérique que l'unité de traitement peut comprendre.

- **Unité de traitement** : se compose d'un microcontrôleur (avec mémoire) et d'un processeur fonctionnant avec un système d'exploitation spécifiquement développé pour les capteurs. Sa fonction principale est de stocker et de traiter les données collectées. Ce module dispose de deux interfaces distinctes : une pour communiquer avec l'unité d'acquisition et une autre pour l'unité de transmission.

- **Unité de transmission** : permet le transfert d'informations entre les différents nœuds capteurs du réseau (émetteur/récepteur) utilisant des technologies sans fil.

- **Unité d'alimentation** : représente l'élément le plus essentiel d'un capteur, car il fournit l'énergie nécessaire pour alimenter les divers composants du capteur. Cette unité est généralement une pile ou une batterie.

Un capteur peut être équipé d'autres unités supplémentaires en fonction des exigences de l'application, telles qu'un module de localisation (GPS) permettant de déterminer la position géographique du capteur, un générateur de puissance (cellule solaire, lumière) et un dispositif de mobilité pour faciliter le déplacement du nœud.

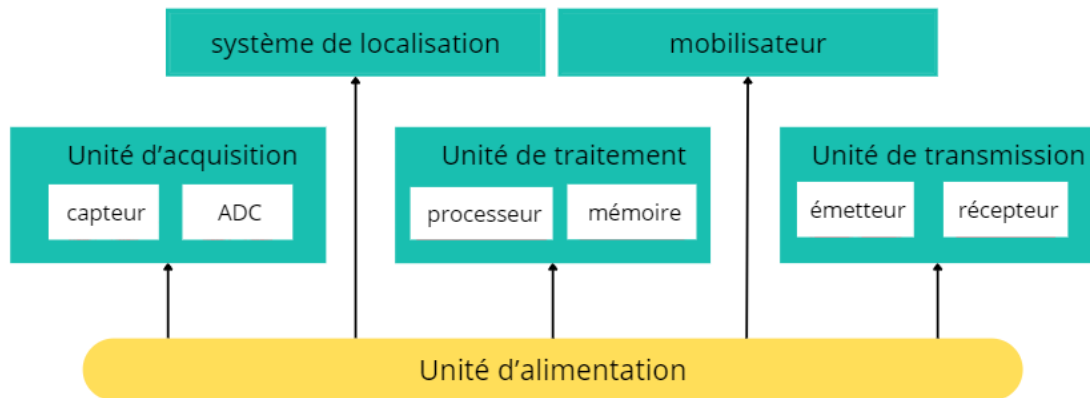


Figure 1.2 - Architecture physique d'un capteur

I.2.3. Définition d'un réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) [1] se compose d'un grand nombre de nœuds capteurs, répartis de manière plus ou moins aléatoire dans une zone géographique ou zone d'intérêt. Leur rôle est de surveiller et de collecter des informations de manière autonome. Un mode de communication multi-sauts est employé pour transmettre les données recueillies à un nœud puits (station de base). Ce puits possède des fonctionnalités avancées et agit comme une passerelle pour transmettre les données au gestionnaire de tâches, que ce soit par internet ou par satellite, comme le montre la figure 1.3.

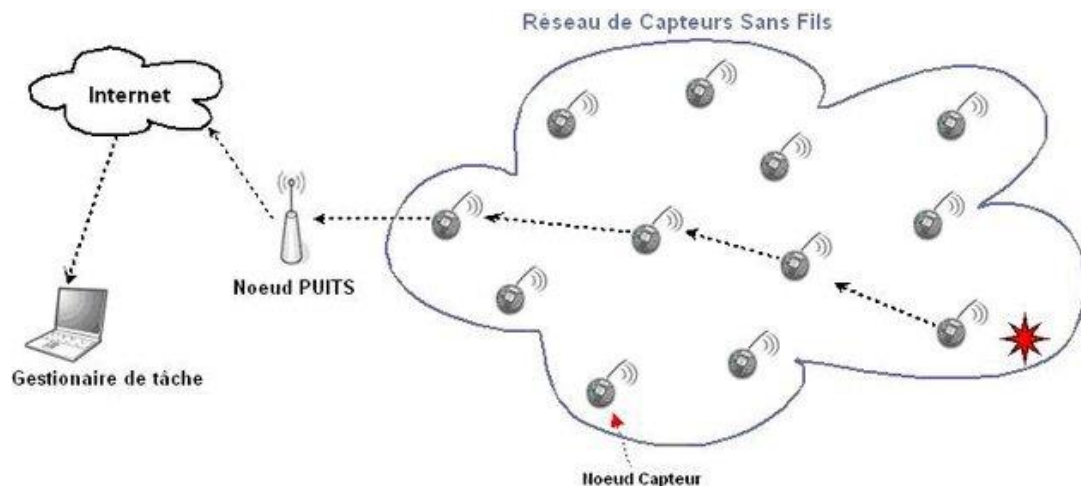


Figure 1.3 - Réseau de capteurs sans fil [1]

I.2.4. Types des réseaux de capteurs sans fil :

Il est possible de trouver des réseaux de capteurs sans fil sur terre, en sous terre et dans l'eau. Chaque système de capteurs doit faire face à des défis et des contraintes spécifiques en

fonction de son environnement. Les réseaux de capteurs sont classés dans les genres terrestre, souterrain, sous-marin, multimédia et mobile [4].

▪ **Réseaux de capteurs terrestres** : la fiabilité d'une communication dans un environnement dense est cruciale pour un réseau de capteurs terrestres. Il est crucial que les nœuds capteurs terrestres puissent assurer une transmission efficace des données à la station de base. Bien que les batteries soient limitées en énergie et ne puissent pas être rechargées, ces nœuds peuvent tout de même être munis d'une source d'alimentation secondaire, comme des cellules solaires [5].

▪ **Réseaux de capteurs souterrains** : sont placés dans des emplacements souterrains, comme dans des grottes ou des mines. Ces emplacements sont utilisés pour observer des conditions dans la zone souterraine. Des stations de base supplémentaires sont positionnées sur la surface pour communiquer les informations des stations de capteurs à la station de base plus grande. Comparés aux réseaux de capteurs terrestres, les réseaux souterrains sont plus coûteux en termes de coût, d'installation et de maintenance. Les nœuds souterrains sont coûteux car des équipements spécifiques doivent être sélectionnés afin d'assurer une communication efficace à travers le sol, la pierre, l'eau et d'autres minéraux [6] .

▪ **Réseaux de capteurs sous-marins** : comprennent plusieurs capteurs et véhicules déployés sous l'eau. Contrairement aux réseaux de capteurs terrestres, les capteurs sous-marins sont plus coûteux et moins fréquents. Des véhicules autonomes sous-marins sont utilisés pour explorer ou recueillir des informations à partir de nœuds de capteurs. Au lieu d'avoir beaucoup plus de stations comme dans les réseaux terrestres, les stations sous-marines sont organisées de manière clairsemée. Les communications sans fil sous-marines sont réalisées par la transmission d'ondes sonores. Les difficultés associées à la communication acoustique sous-marine incluent une bande passante limitée, un temps de transmission long et une perte de signal. De plus, les nœuds des capteurs s'épuisent rapidement en raison des conditions environnementales difficiles [7].

▪ **Les réseaux de capteurs multimédias** : sont élaborés dans le but de surveiller et suivre des événements en utilisant divers médias tels que la vidéo, l'audio et l'image. Leur composition comprend de nombreux nœuds capteurs dotés de caméras et de microphones. Ces nœuds établissent des connexions sans fil pour recueillir, traiter, corrélérer et compresser les données. Les nœuds capteurs multimédias sont déployés de manière organisée afin de garantir une couverture adéquate de l'environnement. Ces réseaux sont confrontés à des défis majeurs tels

que la demande élevée de bande passante, une consommation d'énergie importante, des exigences élevées en matière de qualité de service (QoS), des méthodes avancées de traitement et de compression des données, ainsi qu'une conception inter-couche (cross-layer design) [8].

▪ **Les réseaux de capteurs mobiles** : sont constitués de plusieurs nœuds capteurs qui se déplacent d'eux-mêmes et interagissent avec leur environnement. Les nœuds mobiles sont capables de recueillir, calculer et communiquer de la même façon que les nœuds normaux, en plus d'avoir la capacité de localiser et de créer dynamiquement des réseaux. Un réseau mobile de capteurs peut débuter par une mise en place initiale, puis les nœuds peuvent se déplacer pour obtenir des données [4].

I.3. Les Réseaux de capteurs multimédias sans fil

Les réseaux de capteurs multimédias sans fil représentent une avancée majeure dans le domaine des réseaux de capteurs traditionnels, grâce à leur capacité à traiter des contenus multimédias.

I.3.1. Capteur multimédia

Les progrès technologiques récents et la disponibilité d'appareils abordables tels que des microphones et des caméras ont conduit au développement de capteurs. Autrefois conçus pour collecter des données simples, ces capteurs sont désormais capables de collecter des flux multimédias comprenant de l'audio, des images et de la vidéo. La figure 1.4 montre un exemple d'un capteur multimédia sans fil.



Figure 1.4 - Capteur multimédia sans fil [2]

I.3.2. Caractéristiques

Un RCMSF présente plusieurs caractéristiques [9], parmi lesquelles on peut citer :

▪ **Densité importante des nœuds** : Pour garantir une couverture complète de la zone surveillée, les réseaux de capteurs multimédias sans fil sont habituellement composés d'un grand nombre de nœuds.

▪ **Topologie dynamique** : La topologie des RCMSF peut être dynamique grâce à trois éléments :

- La mobilité des capteurs : Il est possible que la topologie du réseau soit instable en cas d'attachement de capteurs à des objets mobiles.
- La défaillance des capteurs : en raison de leur autonomie énergétique limitée, il est possible que les nœuds tombent en panne, ce qui altère la topologie du réseau.
- Ajout de nouveaux capteurs : Il est facile d'ajouter de nouveaux capteurs, ce qui modifie la topologie du réseau.

▪ **Auto-organisation** : Elle est cruciale pour garantir la maintenance des RCMSF. La capacité du réseau à s'auto-organiser est essentielle pour résoudre le problème du changement de topologie. Cela implique que les capteurs doivent être en mesure de repérer leurs voisins et de mettre en place des chemins pour faciliter la circulation de données à travers le réseau.

▪ **Contrainte énergétique** : La gestion de l'énergie est une priorité pour les RCMSF, car chaque nœud est alimenté par des batteries et souvent interchangeable. Cela signifie que la durée de vie d'un RCMSF est fortement influencée par la façon dont l'énergie est maintenue au niveau de chaque capteur.

▪ **Tolérance aux pannes** : Même en cas de panne d'un ou plusieurs capteurs, le réseau doit continuer à fonctionner sans interruption. Ces problèmes peuvent être provoqués par une diminution de l'énergie, des dommages physiques ou des perturbations environnementales.

▪ **Bande passante limitée** : Le partage de la bande passante est une caractéristique fondamentale des réseaux sans fil, ce qui signifie que la quantité de support de transmission disponible pour un capteur est restreinte.

I.3.3. L'architecture

Différents types de nœuds capteurs peuvent être utilisés par un RCMSF, tels que multimédia ou scalaire, avec des performances variées. Ces nœuds sont en collaboration pour effectuer des tâches spécifiques dans la zone d'intérêt. Un RCMSF est conçu en fonction des besoins de l'application utilisée. La figure 1.5 montre une structure de référence pour les RCMSF, qui est proposée par I. F. Akyildiz et al. [10].

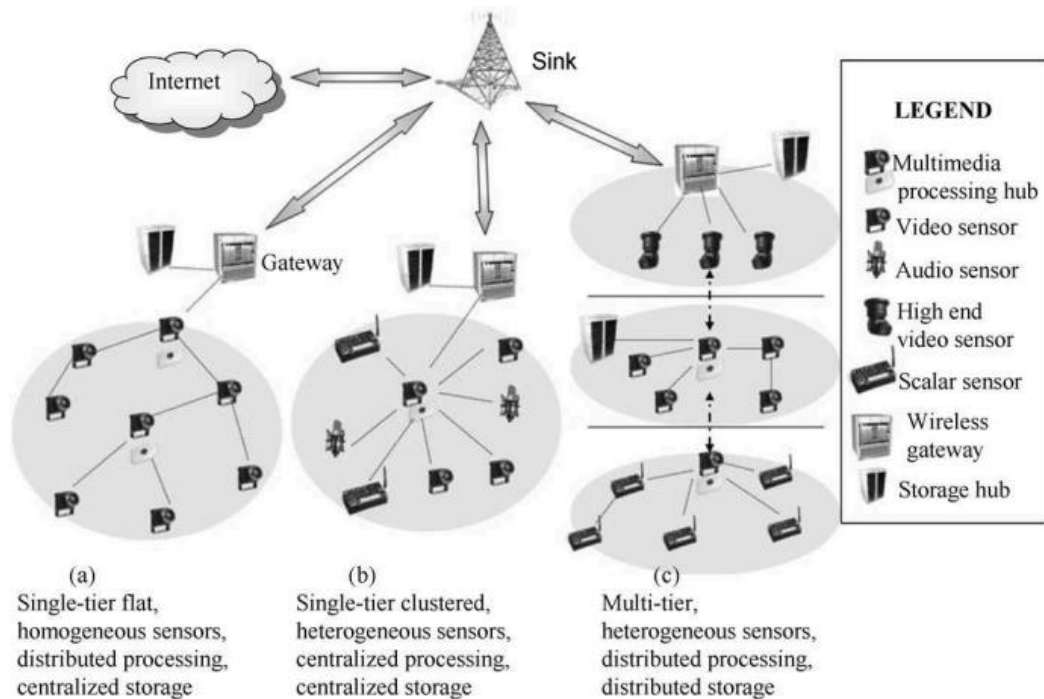


Figure 1.5 - Architecture d'un réseau de capteurs multimédia sans fil [9]

▪ **Architecture monocouche plate et homogène :** (voir Figure 1.5-(a)) Dans cette architecture, on retrouve deux types de capteurs : les capteurs multimédias et les hubs de traitement multimédia (Processing Hub) qui peuvent gérer, agréger et compresser les données et supprimer les paquets répétés. Cette combinaison de ces deux types crée une architecture où le traitement est distribué et le stockage est centralisé.

▪ **Architecture monocouche groupée et hétérogène :** (voir Figure 1.5-(b)) Dans cette architecture, il existe plusieurs types de capteurs hétérogènes, tels que les capteurs multimédias, les capteurs scalaires et les hubs, qui sont regroupés en clusters et gérés par un chef (Cluster Head). Ce dernier est responsable de la transmission des données vers le Sink ou vers les autres chefs. Cette combinaison de capteurs forme une architecture où le traitement et le stockage sont centralisés.

▪ **Architecture multicouches groupée et hétérogène :** (voir Figure 1.5-(c)) C'est une architecture composée de plusieurs couches distinctes. Une première couche est réservée aux capteurs scalaires qui mesurent des quantités, la deuxième couche utilise des nœuds multimédias pour capturer du contenu multimédia. Enfin, la troisième couche utilise des capteurs multimédias performants pour effectuer des opérations des fonctions complexes et transférer des données vers un hub. Dans cette architecture, le stockage et le traitement des données sont répartis de manière équitable.

I.3.4. Pile protocolaire

Il existe deux méthodes pour configurer le modèle de communication dans les réseaux de capteurs multimédias sans fil (RCMSF). La première est l'approche traditionnelle de la pile protocolaire qui implique plusieurs couches, tandis que la seconde est l'approche intercouches, également connue sous le nom de multicouches "Cross-layer". Dans cette approche, trois plans de gestion sont combinés : la gestion de l'énergie, la gestion de la mobilité et la gestion des tâches pour garantir les fonctionnalités entre les différentes couches. La figure 1.6 représente la pile protocolaire.

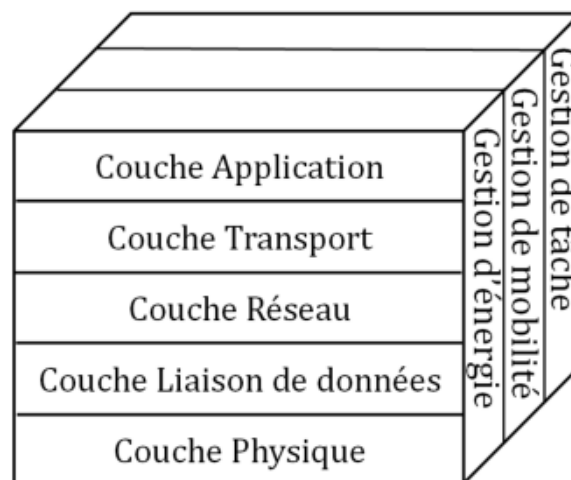


Figure 1.6 - Pile protocolaire dans RCMSF [1]

▪ Les couches

- Couche application : Cette couche est utilisée pour interagir avec les applications, ce qui la rend très proche de l'utilisateur et permet une gestion directe par les logiciels.

- Couche transport : Cette couche est chargée de gérer le transport des données, de les fragmenter en paquets, de gérer le flux, de maintenir l'ordre des paquets et de gérer les éventuelles erreurs de transmission.
- Couche réseau : Elle garantit que les paquets de données captés par les capteurs sont acheminés efficacement vers le puits tout en maintenant l'efficacité énergétique et en satisfaisant aux exigences de qualité de service (QoS) des applications.
- Couche liaison de données : Cette couche est chargée de gérer l'accès au support de communication (MAC), de multiplexer les données, de contrôler les erreurs et de minimiser les collisions entre les données transmises par les nœuds.
- Couche physique : Elle est chargée de définir les spécifications du câblage et la sélection des fréquences porteuses. Cette couche assure la transmission et la réception des paquets de données de manière robuste et efficace.

▪ **Les plans de gestion**

Le plan de gestion de l'énergie offre des approches performantes afin de diminuer la consommation d'énergie. Des méthodes sont suggérées dans le plan de gestion de mobilité pour gérer et enregistrer les déplacements des nœuds. En fin de compte, le plan de gestion des tâches garantit une répartition équitable des tâches entre tous les capteurs du réseau.

I.3.5. Exigences de la QoS

Dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) classiques, l'objectif principal est de prolonger la durée de vie du réseau en réduisant la consommation d'énergie. D'autre part, les réseaux de capteurs multimédias sans fil (RCMSF) se concentrent sur l'optimisation de la diffusion de contenu tout en garantissant des niveaux prédéfinis de qualité de service (QoS) en termes de délai, de fiabilité, d'énergie, de couverture, de qualité et de bande passante. Ces paramètres doivent être pris en compte soit séparément, soit ensemble. Alors que certains protocoles se concentrent sur une seule mesure à la fois, d'autres intègrent simultanément deux, trois ou même plusieurs mesures [11].

▪ **Latence** : Également connue sous le nom de délai ou temps de réponse, correspond au temps requis pour qu'un paquet de données soit transmis du nœud émetteur au nœud récepteur. Cette période est principalement déterminée par le temps que l'on passe dans le medium de transmission et dans la file d'attente. Dans les applications multimédias, il est essentiel de limiter la latence afin d'obtenir une réponse rapide.

- **Fiabilité** : Également connue sous le nom de taux de perte, c'est la capacité de transférer des données de l'émetteur au récepteur en réduisant les pertes des paquets.

- **Bande passante** : Également désignée sous le terme de débit, est la capacité maximale d'un réseau à transmettre des données pendant une durée. Elle est déterminée par plusieurs variables, notamment le support de liaison, le nombre de nœuds et la nature des flux partagés. Les contenus multimédias nécessitent une bande passante élevée en raison de la quantité importante d'informations qu'ils transmettent.

- **Gigue** : C'est la différence de latence entre les paquets reçus. En général, lorsqu'il s'agit de flux multimédia en temps réel, chaque paquet a un besoin d'une gigue. Dans ce contexte, les flux vidéo sont les plus sensibles à la gigue car ils nécessitent une réduction maximale des distorsions lors de visionnage ou de l'écoute.

I.3.6. Les principaux défis des RCMSF

Les réseaux de capteurs multimédias sans fil (RCMSF) rencontrent de nombreux problèmes importants, qui ont des répercussions sur leur conception, tels que :

- **Limites des ressources** : Les nœuds rencontrent des défis importants en raison de leurs ressources limitées, notamment la mémoire, l'énergie, le débit de données et les capacités de traitement. La durée de vie du réseau est fortement influencée par l'autonomie des batteries des nœuds, car il est généralement impossible de les remplacer. Pour prolonger la durée de vie des RCMSF, il est essentiel de réduire la consommation énergétique de chaque nœud ce qui permet d'économiser l'utilisation de la batterie pour chaque unité de nœud (unité d'acquisition, unité de traitement, unité de transmission) en utilisant des algorithmes robustes visant à réduire la consommation de batteries.

- **Demande importante de bande passante** : Les flux multimédias exigent une capacité bien supérieure que celle prise en charge par les capteurs, donc, pour garantir une capacité suffisante, il est essentiel d'avoir des méthodes pour acheminer les données.

- **Diversité de la capacité du canal** : Les changements dans l'environnement ont un impact sur la latence et le débit entre chaque deux nœuds, donc, la garantie de la qualité de service devient plus complexe.

- **Interconnexion entre les couches** : Les fonctionnalités des différentes couches de la pile protocolaire sont fortement interconnectées entre elles à cause de l'utilisation du même

support de communication. Il est donc essentiel de prendre en compte cette interconnexion lors de la conception des protocoles de communication qui visent à garantir la qualité de service.

▪ **Le codage des données multimédias :** Pour transmettre des données multimédias non compressées sur plusieurs sauts, il faut une bande passante importante. Par conséquent, il est crucial d'utiliser des méthodes de codage et de compression spécialement adaptées aux données multimédias, avec des algorithmes performants.

▪ **Couverture :** Les capteurs multimédias ont une portée de vision limitée, ce qui peut entraîner des zones non couvertes s'ils sont mal positionnés, donc, il est essentiel d'organiser de manière efficace l'emplacement des capteurs afin d'assurer une surveillance précise de la zone observée.

▪ **Passage à l'échelle :** Pour certaines situations, il est impératif de déployer un grand nombre de nœuds et il est important que cette augmentation du nombre de nœuds ne perturbe pas les performances du réseau. Par conséquent, les RCMSF doivent prendre en considération la possibilité d'adaptation à l'échelle.

▪ **Tolérance aux pannes :** Les capteurs peuvent être hors service pour différentes raisons, comme la décharge des batteries ou des problèmes matériels et pour garantir la fiabilité des données transmises et préserver la qualité de service, il est essentiel que ces pannes ne perturbent pas le fonctionnement du réseau. La tolérance aux pannes se réfère à la capacité du RCMSF à maintenir un fonctionnement régulier, même si un ou plusieurs capteurs tombent en panne.

▪ **Protection des données :** Pour les applications de contrôle, il est crucial de protéger de manière renforcée les données collectées. Pour atteindre cet objectif, il est essentiel d'employer des méthodes de confidentialité, d'intégrité et d'authentification. Les RCMSF ont besoin d'algorithmes de cryptage qui prennent en compte les ressources limitées des nœuds.

▪ **L'interférence :** Dans les RCMSF, le routage multi-chemin est un moyen efficace pour transmettre beaucoup de données tout en économisant de l'énergie. Toutefois, cela peut poser des problèmes lorsque des chemins voisins ou plus qu'une source sont transmis simultanément, ce qui provoque des collisions et des pertes de données.

▪ **Environnement :** Les capteurs sont habituellement positionnés dans des zones éloignées et non surveillées, exposés à diverses conditions environnementales. Ils peuvent être

soumis à des pressions élevées en profondeur dans l'océan, à des environnements hostiles comme les zones de guerre.

I.3.7. Domaines d'applications

La capacité à s'adapter, à réduire la taille et les coûts des capteurs, ainsi que le développement de la communication sans fil et des réseaux ubiquitaires, favorisent l'évolution des RCMSF. En conséquence, ces derniers ne se contentent pas d'améliorer les applications déjà existant dans les RCSF, mais ils s'étendent également à de nouveaux domaines d'application.

- **Applications militaires :** Au début, les RCMSF étaient surtout utilisés dans des contextes militaires, comme c'est souvent le cas avec les nouvelles technologies. Dans ce secteur, les réseaux de capteurs multimédias peuvent être employés pour surveiller les zones de combat en repérant des cibles potentielles [12]. On place les capteurs sur le terrain de façon aléatoire dans les zones difficiles d'accès, ou de manière plus précise dans les autres zones. Il est crucial de bien orienter les caméras des capteurs pour couvrir toute la zone surveillée. Cependant, cela peut poser des problèmes si le déploiement est aléatoire. De nombreux projets ont été lancés pour soutenir les opérations militaires et protéger les villes contre les attaques des ennemis.

- **Applications environnementales :** Les capteurs multimédias peuvent être déployés sur de vastes zones géographiques pendant une longue période pour recueillir des données sous forme de vidéos ou d'images, afin d'analyser le comportement dans l'environnement.

- **Applications sécuritaires :** Les RCMSF peuvent observer les personnes dans des contextes publics et privés, ou être utilisés pour garder et surveiller les frontières terrestres. En cas de tremblement de terre, ils peuvent être employés pour aider les équipes de secours à réagir plus rapidement et améliorer l'efficacité de la recherche et du sauvetage.

- **Applications médicales :** Des micro capteurs peuvent être insérés dans la peau ou les avaler. Ces appareils enregistrent en temps réel des images d'une partie vitale du corps humain, ce qui peut être utilisé pour suivre l'évolution d'une maladie.

- **Applications du trafic routier :** Les RCMSF sont en mesure de recueillir des informations sur les véhicules, y compris le nombre total de véhicules et leur vitesse moyenne. Ils peuvent également capturer des photos ou des vidéos lors d'accidents de la route. Les RCMSF sont équipés de systèmes intelligents de guidage du stationnement optimisés [13] qui

surveillent et contrôlent les places de stationnement disponibles, tout en fournissant des informations aux conducteurs urbains pour améliorer leur mobilité.

▪ **Applications sportives** : La mise en œuvre du RCMSF gagne en popularité dans le sport, comme en témoigne la détection de comportements incorrects des arbitres dans le football.

▪ **Applications commerciales** : Les RCMSF peuvent être utilisés dans les entreprises pour observer le processus de production depuis la première à la dernière étape, ainsi que pour gérer la distribution des produits et leur stockage.

▪ **Applications domotiques** : Des capteurs multimédias intégrés dans les appareils dits de maison intelligente permettent de contrôler ces appareils localement ou à distance, ce qui augmente la valeur existante de ces appareils et suggère des améliorations supplémentaires d'un nouvel espace innovant.

▪ **Application à la robotique** : Un dispositif robotique miniature avec un composant multimédia peut fonctionner comme source d'informations, cela sera accompli en prenant des données et en les communiquant à la destination prévue via d'autres robots situés dans la région d'intérêt.

I.4. Conclusion

Ce chapitre offre une vue d'ensemble des RCSF. Nous avons débuté en décrivant en détail le capteur, les unités principales du capteur, et en expliquant ce qu'est un RCSF et ses différents types. Ensuite, nous avons expliqué le capteur multimédia, en détaillant les caractéristiques d'un RCMSF ainsi que son architecture. Il est nécessaire que les RCMSF prennent en considération certaines mesures pour améliorer la qualité de service pour chaque élément de la pile protocolaire. Ainsi, nous avons fourni une description du modèle de communication et nous avons étudié plusieurs éléments du RCMSF, notamment les exigences de qualité de service et les principaux défis du RCMSF. Ces éléments sont indispensables lors de la conception, du déploiement et de la gestion efficace de ces réseaux. Enfin, nous avons fourni quelques exemples d'applications de RCMSF.

Le prochain chapitre traitera de l'état de l'art du routage dans les RCMSF, en explorant les classifications des protocoles et en se concentrant spécifiquement sur le routage géographique.

Chapitre II

Le routage dans les Réseaux de Capteurs Multimédia Sans Fil

II.1. Introduction

Le routage consiste à choisir le trajet idéal pour transporter les données capter par les capteurs sources aux puits. Dans le domaine des RCMSF, l'efficacité énergétique est d'une importance pour le routage. Il est crucial de choisir des trajets à faible consommation d'énergie, ce qui signifie des trajets de courte distance, et de pouvoir les planifier ou les maintenir sans utiliser une quantité excessive d'énergie.

Dans les RCMSF, les caractéristiques de ces réseaux sont d'une importance capitale lorsqu'il s'agit de routage. En raison de la densité importante des nœuds, de leur consommation énergétique limitée et de leurs topologies, il est essentiel de mettre en place des protocoles de routage pour assurer des performances adaptées à des exigences précises.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les différentes complications rencontrées lors du routage dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil, ainsi que les critères utilisés par les protocoles de routage pour sélectionner les trajets. Par la suite, nous étudierons les diverses méthodes pour classer les protocoles de routage utilisés dans ces types de réseaux.

II.2. Facteurs influant sur la conception d'un protocole de routage

Le routage représente un défi majeur pour les réseaux de capteurs multimédia sans fil (RCMSF) et différentes méthodes ont été suggérées pour y remédier.

II.2.1. Consommation d'énergie

Les protocoles de routage sont principalement conçus pour assurer une transmission efficace des données entre les capteurs et le puits. Étant donné les ressources énergétiques limitées des capteurs, il est essentiel que les données soient transmises de manière économique [9]. On peut classer la consommation d'énergie associée au routage de la manière suivante :

- Les échanges d'informations entre les nœuds voisins lors de la découverte des voisins peuvent causer une surcharge énergétique. Pour optimiser l'efficacité énergétique, il est crucial de limiter au strict minimum ces échanges d'informations [9].
- La communication et le traitement des données posent un autre défi. En général, la consommation d'énergie par traitement des données est inférieure à celle par communication, mais il est crucial d'intégrer ces deux éléments pour réduire la consommation d'énergie.

II.2.2. Scalabilité

Dans un RCMSF, il est difficile de voir la structure du réseau en raison du nombre élevé de nœuds. Il est crucial de la mise en place des protocoles décentralisés, qui fonctionnent avec une connaissance restreinte de la topologie, pour faciliter le déploiement à l'échelle du réseau [9].

II.2.3. Adressage

L'attribution d'une adresse unique à chaque nœud est impossible en raison des nombreux nœuds qui composent un RCMSF. Ainsi, il est essentiel de mettre en place de nouvelles méthodes de routage, qui ne se limitent pas à attribuer des adresses uniques à chaque nœud [9].

II.2.4. Robustesse

Les RCMSF utilisent les nœuds du réseau pour acheminer les données par plusieurs sauts. Par conséquent, il est essentiel que ces protocoles garantissent la robustesse en cas de défaillance des nœuds, afin d'éviter toute perte de données causée par un nœud tombant en panne.

II.2.5. Topologie

Il est possible de planifier le déploiement d'un RCMSF à l'avance ou de le faire de manière aléatoire. Donc, il est crucial que les protocoles de routage offrent une compréhension de la topologie, pour que chaque nœud puisse reconnaître son environnement et prendre des décisions de routage adaptées. En outre, il est possible que la topologie évolue pour diverses raisons, ce qui demande que les protocoles de routage soient adaptés à ces évolutions.

II.2.6. Application

Concernant les applications de surveillance, les nœuds ont tendance à transmettre régulièrement leurs observations à la station de base, créant ainsi des chemins fixes. Néanmoins, lorsque les événements entraînent des échanges, il est crucial de définir des itinéraires spécifiques pour diffuser les informations de ces événements. En outre, en raison de la variation de l'emplacement des événements, il est impératif d'établir de nouveaux chemins à chaque fois. Donc, les méthodes de routage sont fortement influencées par la nature de l'application [9].

II.2.7. Diversité des nœuds et des liens

D'après plusieurs études, il est suggéré que les nœuds ont tous des similitudes dans leur capacité de calcul, leurs paramètres et leur capacité de communication. Néanmoins, d'après certaines utilisations, les nœuds peuvent avoir des fonctions ou des compétences distinctes telles que les capteurs multimédias (image, vidéo, etc.) et les capteurs scalaires (le taux de CO₂, etc.). Prenons l'exemple d'applications hiérarchiques qui demandent l'utilisation de nœuds " Cluster Head ". Ces derniers ont des ressources supérieures en matière d'énergie, de bande passante et de mémoire par rapport aux autres nœuds [14].

II.2.8. Média de transmission

La communication entre les nœuds interconnectés d'un réseau de capteurs multi-sauts se fait via un canal sans fil. Par conséquent, les perturbations fréquentes liées au canal sans fil peuvent avoir un impact sur le bon fonctionnement du réseau [14].

II.2.9. Connectivité

Dans un RCMSF, les nœuds des réseaux de capteurs sont rarement complètement isolés les uns des autres en raison du nombre élevé de nœuds. Néanmoins, même avec cette connectivité entre les capteurs, il existe une possibilité de diviser le réseau en cas de défaillance de certains capteurs [14].

II.2.10. Agrégation de données

En fonction de la quantité élevée de nœuds dans une zone surveillée, il est possible d'obtenir des données identiques. Ainsi, il est courant de regrouper ces données identiques pour diminuer le nombre de transmissions et optimiser la consommation énergétique. Pour regrouper des informations provenant de diverses sources, il est nécessaire d'éliminer les informations redondantes [14].

II.2.11. Qualité de service

La transmission des données est cruciale dès qu'elles sont détectées dans certaines applications. La latence, qui correspond au délai de livraison des données, est une contrainte importante pour ces applications qui doivent respecter des contraintes temporelles. Néanmoins, dans de nombreuses situations, la conservation de l'énergie, indispensable pour la durabilité du réseau, est considérée comme une priorité par rapport à la qualité des données transmises. En

raison de la diminution de l'énergie, le réseau doit ajuster la qualité des données pour limiter au maximum la consommation d'énergie des capteurs, ce qui prolonge la durée de vie du réseau [14].

II.3. Métriques de routage

Pour élaborer un protocole de routage dans un réseau, il est nécessaire de prendre en compte les ressources disponibles dans le réseau ainsi que les exigences des applications [15]. Dans ce contexte, diverses mesures de routage sont employées pour représenter divers objectifs du protocole de routage.

II.3.1. Consommation énergétique

Cette combinaison de métriques est employée par les protocoles de routage pour minimiser la consommation d'énergie lors du processus de routage. L'objectif principal est d'évaluer la quantité d'énergie disponible pour chaque nœud du réseau, tout en identifiant l'énergie requise pour les transferts de paquets entre ces nœuds. Ensuite, on établit les chemins entre les nœuds et le puits, en fonction de la somme des énergies disponibles des nœuds qu'ils traversent ainsi que de la somme des énergies requises des liaisons qu'ils empruntent. Différentes approches sont utilisées pour réguler la consommation d'énergie, telles que [16]:

- **Considération de puissance** : La sélection du chemin est basée sur la somme des énergies disponibles la plus élevée.

- **Considération du coût** : La sélection du chemin est basée sur la somme des énergies requises la plus petite.

- **Considération de puissance et du coût** : Les deux métriques précédemment utilisées sont fusionnées dans cette métrique. La sélection du chemin est basée sur la somme des énergies requises la plus petite et la somme des énergies disponibles la plus élevée.

II.3.2. Nombre de sauts

Les protocoles de routage ont recours à cette mesure pour limiter au maximum le nombre de sauts du routage. Le but est de sélectionner le chemin qui nécessite le moins de nœuds intermédiaires pour arriver au puits [16].

II.3.3. Perte de paquets

Dans le but de réduire le nombre de paquets de données perdus lorsqu'ils sont transférés de l'émetteur vers le récepteur, les protocoles de routage ont recours à cette mesure. On cherche à déterminer combien de paquets ont été perdus par rapport au nombre total de paquets émis pendant un transfert. Lorsqu'il y a un taux élevé de perte de paquets, il est crucial de mettre en place des mécanismes pour minimiser les collisions [16].

II.4. Classification des protocoles de routage dans les RCMSF

Le routage dans les réseaux peut être catégorisé en fonction de trois principaux concepts : selon la structure du réseau, selon l'établissement des chemins et selon le type de protocole. La figure 2.1 illustre ces catégories.

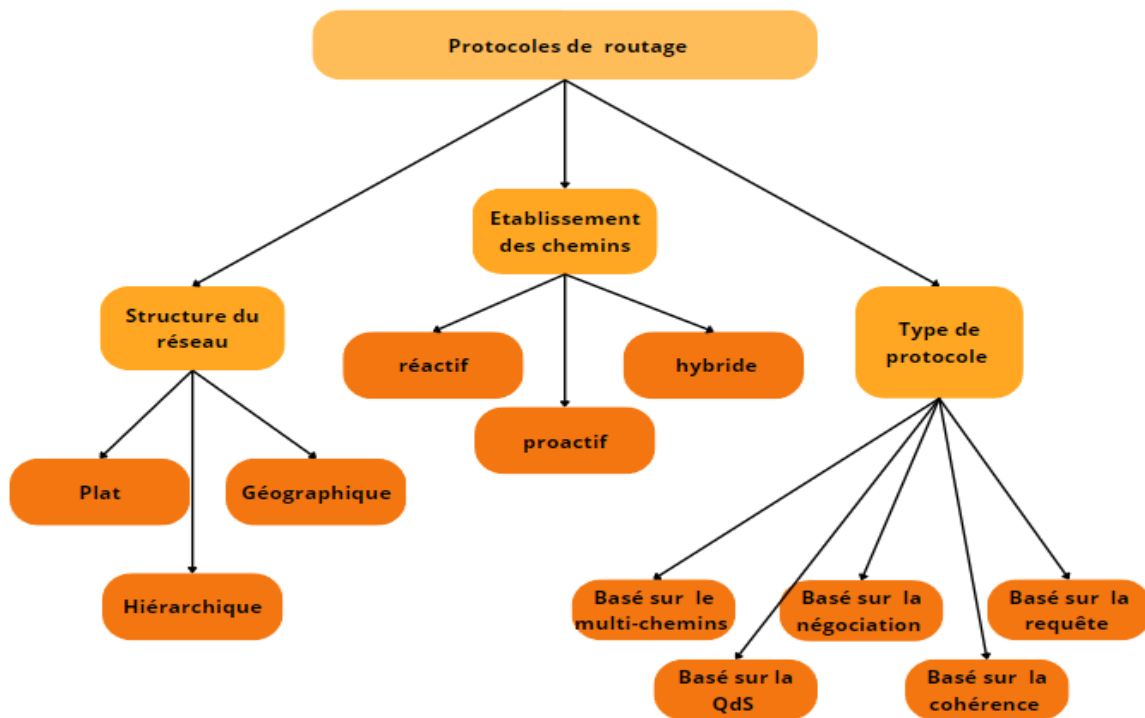


Figure 2.1 - Catégories des protocoles de routage de RCMSF

II.4.1. Selon la structure du réseau

Les protocoles de routage peuvent être classés en trois catégories en fonction de la structure du réseau :

II.4.1.1. Les protocoles de routage plat

Dans les RCMSF plat, tous les nœuds doivent accomplir la même tâche, à l'exception du nœud de base qui doit collecter toutes les données des divers nœuds capteurs pour les transmettre à l'utilisateur final. La figure 2.2 présente le protocole plat.

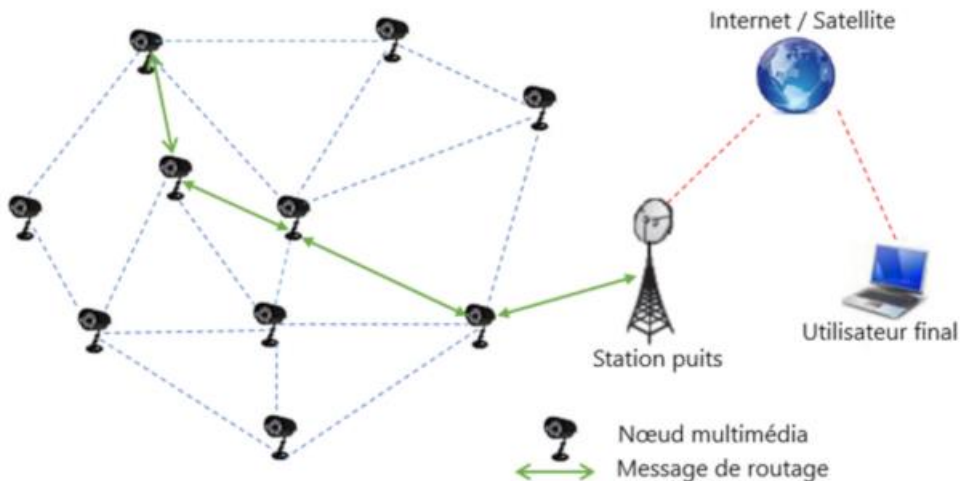


Figure 2.2 - Protocole de routage plat [17]

Les protocoles de routage à plat présentent de nombreux avantages, tels que la nécessité d'avoir un débit minimal pour maintenir l'infrastructure et la capacité de passer plusieurs chemins entre les nœuds communicants afin d'éviter les pannes [9].

Le principal inconvénient de cette approche est que la grande majorité des données émises par les nœuds sont concentrées près de la station de base. Cela signifie qu'il est probable que ces nœuds se déchargent rapidement et que le puits se déconnecte des autres nœuds capteurs.

II.4.1.2. Les protocoles de routage hiérarchiques

Les RCMSF deviennent de plus en plus difficiles à gérer à mesure qu'ils se développent. La hiérarchie est l'organisation la plus reconnue qui facilite la gestion de ce type de réseau, cette organisation permet de partitionner les nœuds en plusieurs classes. L'approche la plus courante consiste à regrouper ces ensembles, que l'on appelle alors cluster. Ce dernier est constitué de plusieurs capteurs (membres) et d'un capteur nommé tête de cluster (Cluster Head). Ce capteur utilise plus d'énergie que les autres capteurs pour communiquer directement entre les membres et les puits ou par l'intermédiaire d'autres dirigeants. Cette topologie favorise l'incorporation d'une technique d'agrégation [18], les membres communiquent l'information à la tête de cluster, ce dernier agrège les informations pour communiquer le total à la destination. Ce style de

topologie est destiné à conserver l'énergie [19]. Seules les têtes des clusters participent à la transmission vers la destination. La figure 2.3 illustre un exemple de conception hiérarchique.

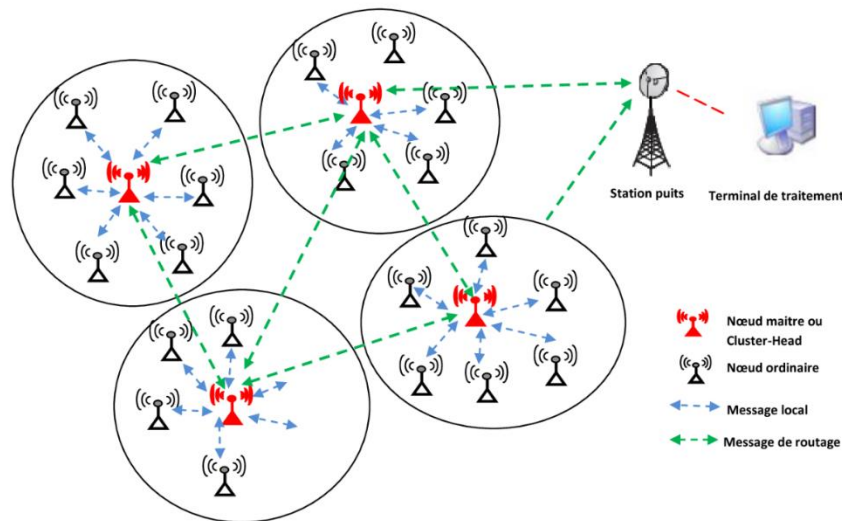


Figure 2.3 - Protocole de routage hiérarchique [17]

Les protocoles hiérarchiques offrent de nombreux avantages en permettant l'utilisation de clusters et l'agrégation des données de différents capteurs, ce qui permet de réduire le volume de trafic sur le réseau et d'augmenter la durée de vie des nœuds et du réseau [15].

L'un des principaux désavantages des protocoles hiérarchiques de routage est que les chefs de cluster participent à une grande quantité de trafic, ce qui entraîne une augmentation de la consommation énergétique de ces composants. La consommation d'énergie est également influencée par le processus de formation de clusters [15] [9].

II.4.1.3. Les protocoles de routage géographiques

Dans plusieurs applications dans les RCMSE, il est crucial d'avoir des informations sur la position [9]. Chaque nœud capteur doit être informé de sa localisation géographique, de celle de ses voisins à un saut et également de celle du puits. Le système peut recevoir des informations de localisation de chaque nœud capteur grâce à l'intégration d'un GPS. Les RCMSE ont encore un coût élevé pour l'utilisation de ce dernier.

Les protocoles basés sur la localisation présentent l'avantage d'utiliser uniquement les informations de localisation pour prendre des décisions de protocole en matière de routage et qu'il n'est pas obligatoire de conserver une table de chemins de bout en bout, ou d'établir un protocole entre la source et la destination [15].

À l'inverse, le succès des protocoles géographiques basés sur la localisation dépend de l'emplacement exact des nœuds. Une détection de position défectueuse peut conduire à un routage erroné [9].

II.4.2. Selon le fonctionnement du protocole

Les protocoles de routage peuvent être classés en cinq catégories en fonction de leur fonctionnement :

II.4.2.1. Protocoles basés sur la négociation

Ces protocoles réduisent la quantité de données transmises via la négociation en utilisant des descripteurs de données situés en haut de la hiérarchie. De plus, les décisions en matière de communication sont prises en fonction des ressources dont dispose le degré auquel les nœuds de capteurs sont affectés. L'objectif principal du routage via la négociation est de réduire au maximum les informations en double et d'éviter la transmission de données redondantes aux prochains nœuds ou au puits, en partageant plusieurs messages concernant la négociation avant de transmettre les données effectives.

II.4.2.2. Protocoles basés sur la requête

Cette méthode de routage permet aux nœuds destinataires de diffuser une demande de données de puits à travers le réseau. Les données sont envoyées au demandeur par le nœud qui les détient, en suivant la même trajectoire que la requête. Chaque nœud a sa propre table contenant les intérêts définis par le puits. Les informations correspondant aux demandes sont envoyées par les nœuds dès qu'elles sont repérées [14].

II.4.2.3. Protocoles basés sur la QoS

Lorsqu'on met en place des protocoles de routage multimédia, il est essentiel de tenir compte des critères de performance tels que le débit, le délai et la vitesse.

Ces métriques sont cruciales pour développer de nouvelles applications dans ce domaine. Les protocoles de routage pour les RCMSF doivent prendre en compte les exigences de qualité de service de ces applications, en plus de l'efficacité énergétique. Les protocoles qui reposent sur la QoS intègrent des métriques supplémentaires, au-delà de la consommation d'énergie, pour créer des routes capables de satisfaire les exigences des RCMSF. Cependant, ces métriques supplémentaires se font au prix d'une consommation énergétique accrue [9].

II.4.2.4. Protocoles basés sur la cohérence

Les nœuds capteurs sont habituellement en collaboration pour traiter les diverses données diffusées sur le réseau. Les données sont traitées en utilisant deux méthodes : les protocoles de cohérence et ceux de non-cohérence. Dans les systèmes de non-cohérence, les nœuds procèdent d'abord à un traitement local des données avant de les transférer à d'autres nœuds pour un traitement additionnel. Les nœuds qui accomplissent cette opération supplémentaire sont désignés comme des agrégateurs. Le routage cohérent implique de faire parvenir les données aux agrégateurs après une phase de traitement minimale [14].

II.4.2.5. Protocoles basés sur le multi-chemins

Pour améliorer les performances du réseau, ces protocoles de routage encouragent l'utilisation de plusieurs voies au lieu d'une seule voie. La probabilité qu'il y ait un chemin alternatif entre une source et une destination en cas d'échec du chemin principal est utilisée pour évaluer la capacité d'un protocole à faire face aux erreurs. Pour renforcer cette résilience, il est envisageable de maintenir différentes routes entre la source et la destination, ce qui conduit à une augmentation de la consommation d'énergie et à une augmentation du trafic. L'envoi régulier de messages assure la préservation de ces voies alternatives. De cette manière, on améliore la fiabilité du réseau en maintenant les itinéraires alternatifs les plus récents [14]. Malgré tout, cette méthode présente un inconvénient de provoquer un coût supplémentaire et une consommation d'énergie élevée pour maintenir ces voies alternatives.

II.4.3. Selon l'établissement des chemins

Il revient aux protocoles de routage d'identifier ou de créer les itinéraires de la source à la destination souhaitée. On peut classer les protocoles en trois catégories : réactifs, proactifs et hybrides [15].

II.4.3.1. Les protocoles de routage proactifs

Les chemins sont définis par les protocoles de routage proactifs avant leur utilisation. Ce qui rend cette méthode si avantageuse, c'est que les itinéraires sont immédiatement accessibles à la demande, sans nécessiter de recherche de routes. Cependant, cette approche demande de l'énergie car elle implique d'échanger régulièrement des messages, dont de nombreux ne sont pas indispensables car seules certaines routes seront généralement utilisées par les applications [15].

II.4.3.2. Les protocoles de routage réactifs

Les méthodes de routage réactives ne génèrent aucune route avant d'être explicitement sollicitée et utilisée, contrairement aux méthodes de routage proactives. Quand il faut prendre une route, le protocole recherche une connexion vers la destination, en général par diffusion de paquets. Cette méthode présente l'avantage de ne produire du trafic de contrôle que lorsque cela est requis. Néanmoins, le désavantage principal réside dans le fait que les diffusions, qui touchent tous les nœuds du réseau rapidement et prennent un temps considérable pour construire les routes [15] .

II.4.3.3. Les protocoles de routage hybrides

Afin d'optimiser leurs bénéfices respectifs, ces protocoles combinent les deux méthodes. En général, le réseau est divisé en deux parties : on utilise une méthode proactive pour localiser les voisins les plus proches, à une distance maximale de deux sauts d'un nœud donné. Au-delà de cette zone définie, on utilise une méthode réactive pour la recherche de routes.

II.5. Routage géographique

Le routage géographique est largement utilisé dans les RCMSF en raison de ses bonnes caractéristiques et de ses nombreux avantages.

Les nœuds peuvent localiser leur position en utilisant un GPS [20] et en échangeant des messages de balisage (Beacon) pour créer leur table de voisinage.

II.5.1. Les stratégies d'acheminement

Il existe plusieurs stratégies suggérées pour décider du prochain saut dans le routage géographique dans les RCMSF. La figure 2.4 illustre les principales stratégies d'acheminement. Pour transmettre un paquet au puits (P), la source (S) doit sélectionner le nœud du prochain saut parmi les voisins (A, B, C, D) qui se trouvent dans sa portée de communication (R).

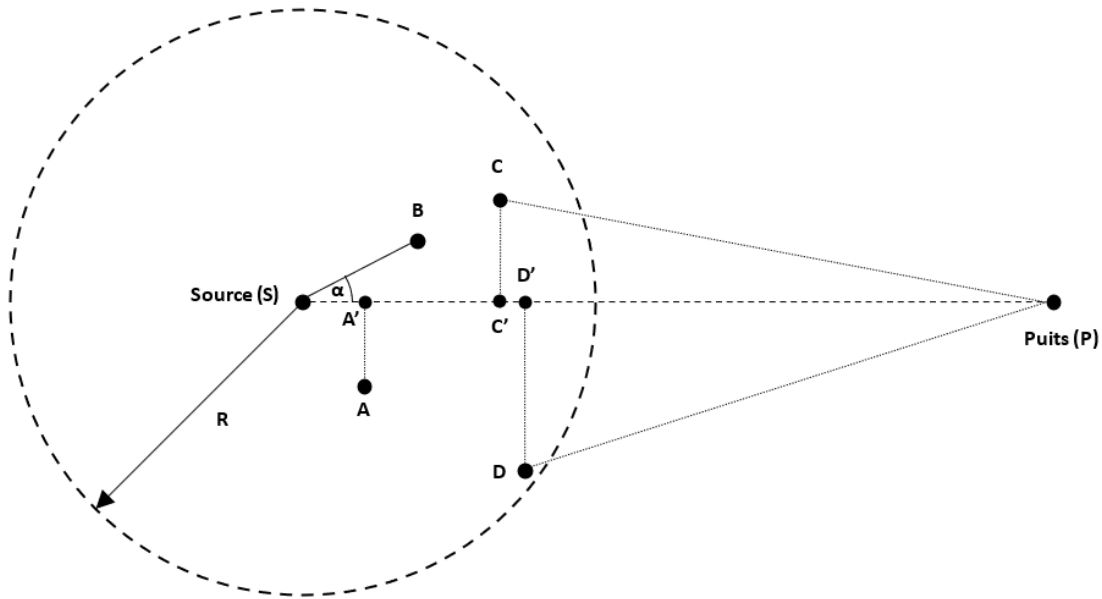


Figure 2.4 - Stratégies d'acheminement

▪ **Compass Routing** : Cette stratégie consiste à envoyer un paquet au composant directionnel le plus proche pour atteindre la destination (P). En conséquence, (S) choisit le nœud qui minimise l'angle entre ce nœud et la ligne (S-P). Le voisin qui fait le moins d'angles avec (S-P) est (B), alors (B) est le prochain saut [21].

▪ **Nearest Forwarding Routing** : Dans cette stratégie, (S) choisit un voisin le plus proche de lui afin de minimiser au maximum les risques de perte de données. (A') représente la projection orthogonale de (A) sur la ligne (S-P) et la distance (A'-P) est la plus grande, ce qui signifie que (A) est le prochain saut [22].

▪ **Greedy Routing** : Cette stratégie cherche à maximiser l'avancement vers la destination (P). Cela signifie que le paquet est transféré au voisin le plus proche du Puits en termes de distance euclidienne. Donc, le nœud (C) est choisi comme prochain saut, car la distance (C-P) est la plus petite [23].

▪ **Most Forwarding Routing** : Dans cette stratégie, le choix du prochain saut vise à réduire la longueur du chemin en minimisant au minimum la distance euclidienne entre la projection orthogonale du voisin sur la ligne reliant la source (S) au puits (P). (D') représente la projection orthogonale de (D) sur la ligne (S-P) et la distance (D'-P) est la plus petite. Donc, le nœud (D) est le prochain saut parmi les voisins de (S) [24].

II.5.2. Le problème de routage géographique

L'un des principaux défis du routage géographique est le problème des zones vides, appelé en anglais void. Ces zones apparaissent lorsque les nœuds ne trouvent pas de voisin plus proche de la destination qu'eux-mêmes. Plusieurs méthodes peuvent être employées pour gérer ce problème, telles que la stratégie de la main droite. Cette méthode sera détaillée et expliquée dans le chapitre 3 dans le cadre du protocole GPSR.

II.5.3. Protocoles de Routage Géographique

Plusieurs protocoles de routage géographique sont disponibles afin d'améliorer la transmission des données dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil. Chaque protocole met en place des mécanismes spécifiques pour relever les défis auxquels ces réseaux font face.

Parmi ces protocoles, on peut mentionner TPGF [25] (Two-Phase Geographic Forwarding), AGEM [26] (Adaptive Geographic and Energy-aware Routing), GEAMS [27] (Geographic Energy-Aware Multipath Stream-based Routing) et GPSR [23] (Greedy Perimeter Stateless Routing) qui sera traité en détail dans le chapitre 3.

II.6. Conclusion

La complexité du routage dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil est due aux caractéristiques de ces réseaux, telles que les contraintes de ressources et la fiabilité de liaison moins élevée. Pour éviter l'épuisement des ressources limitées des réseaux de capteurs multimédia sans fil, notamment l'énergie, il est essentiel que les protocoles de routage fonctionnent de manière efficace et s'adaptent aux changements imprévisibles du réseau, comme les variations de la topologie et de la densité.

Au cours de ce chapitre, nous avons noté que les protocoles de routage proposés pour les réseaux de capteurs multimédia sans fil peuvent être regroupés en diverses catégories en fonction du mode d'établissement des chemins, de la structure du réseau et du mode de fonctionnement du protocole. Ensuite, nous avons examiné le routage géographique et ses approches pour choisir le nœud du prochain saut.

Dans le chapitre qui suit, nous allons présenter et étudier le protocole de routage géographique GPS.

Chapitre III

**Évaluation du protocole de routage
géographique GPSR et de ses dérivés
dans les RCMSF**

III.1. Introduction

Concevoir des protocoles de routage efficaces est crucial pour assurer une transmission fiable et rapide des données dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil (RCMSF). Le Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) [23] est reconnu pour être le premier protocole de routage géographique, utilisé dans les réseaux sans fil ad hoc et les réseaux de capteurs.

Dans ce chapitre, nous allons étudier le protocole GPSR en mettant en évidence son fonctionnement. Nous avons également appliqué des modifications au protocole GPSR en changeant la stratégie Greedy par la stratégie Compass, ce qui a conduit à la création du protocole CGPSR. Cette modification permet à CGPSR de choisir le prochain saut en formant un angle minimal. Dans le protocole CGGPSR, nous avons intégré la stratégie Compass au protocole GPSR. Cette modification permet à CGGPSR de sélectionner les nœuds situés dans un angle déterminé, puis de choisir parmi ces nœuds celui qui est le plus proche de la destination. De plus, nous expliquerons l'environnement de simulation utilisé pour évaluer les deux protocoles, GPSR, CGPSR et CGGPSR. En outre, nous comparerons les trois protocoles en prenant en compte des critères tels que le taux de livraison des paquets, la durée de vie du réseau, le débit moyen et le délai moyen. Cette évaluation comparative permettra de déterminer quelle stratégie est la mieux adaptée pour le choix du prochain saut, afin de répondre aux besoins des RCMSF.

III.2. Le protocole GPSR

Le protocole de routage géographique (basé sur la position) appelé Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) est réactif et unicast.

Dans le cadre de ce genre de protocoles géographiques, tel que GPSR, la source est tenue au courant de sa position, de celle de ses voisins et de celle du destinataire aussi. Grâce à un GPS, il est possible d'obtenir les coordonnées de position des nœuds. Dans ce protocole, il est possible de transférer un paquet jusqu'à son destinataire grâce à deux mécanismes :

- Transmission gloutonne : Le but de cette méthode est d'envoyer les données vers le nœud le plus proche de la destination, qui se trouve dans la portée de communication. C'est la méthode par défaut.
- Transmission de périmètre : Cette technique est utilisée lorsque la méthode par défaut ne parvient pas à transmettre les données.

III.2.1. Les mécanismes de GPSR

Le protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) utilise deux techniques principales pour acheminer les paquets.

III.2.1.1. Transmission gloutonne (Greedy Forwarding) :

Le processus de ce genre de transmission établit un itinéraire en se basant sur les nœuds situés entre le point de départ et le point d'arrivée. Pour choisir le prochain saut pour un paquet, tous les nœuds intermédiaires font une sélection optimale localement en utilisant la méthode de Greedy. Le nœud intermédiaire achemine le paquet reçu et le transmet à son voisin le plus proche géographiquement de la destination. Cette méthode se répète de manière récurrente jusqu'à ce que le paquet parvienne à destination [23].

Un exemple de choix gourmand pour le prochain saut est illustré dans la figure 3.1 Le nœud X souhaite envoyer un paquet au nœud D, situé aux coordonnées (x_1, y_1) . Pour cela, X identifie le nœud Y dans sa portée de communication, avec les coordonnées (x_2, y_2) , et choisit de transmettre le paquet par l'intermédiaire de Y en raison de la distance plus courte entre Y et D par rapport à tout autre voisin de X. Cette transmission se répète jusqu'à ce que le paquet atteigne D.

$$\text{La distance euclidienne (D, Y)} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

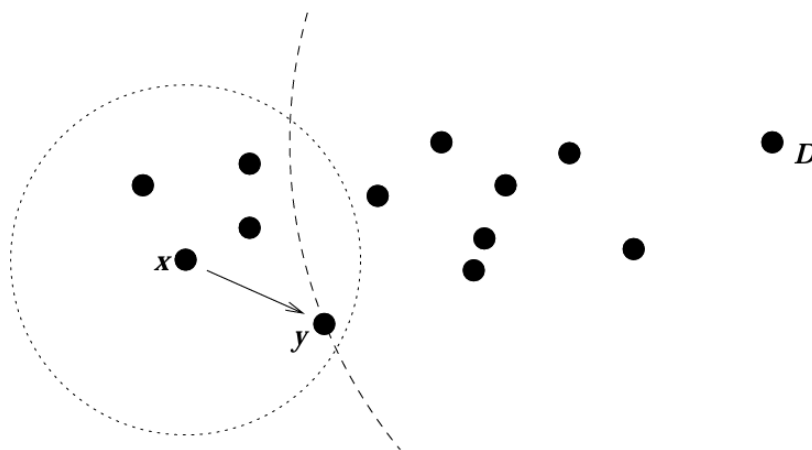


Figure 3.1 - Exemple de transmission gloutonne [23]

Un nœud utilise un algorithme connu sous le nom de Beaconing pour repérer la position de ses voisins et construire sa table de voisinage. Les nœuds communiquent leur localisation à leurs voisins et leur indiquent leur présence à travers des messages de contrôle (messages Beacon) qui contiennent la position et l'identifiant du nœud. Grâce à cette interaction régulière

avec les paquets, il est possible de mettre en place une table contenant les identifiants du nœud et ces positions (table de voisinage).

En cas de perte de messages Beacon d'un voisin pendant une période, le nœud détermine qu'il n'est plus dans sa zone de couverture et le retire de sa table de voisinage.

Cette méthode peut ne pas être efficace si aucun nœud voisin proche de la destination n'est présent, que le nœud lui-même. Dans cette situation, le nœud se trouve confronté à un vide. Pour l'éviter, il active le mode de transmission de périmètre.

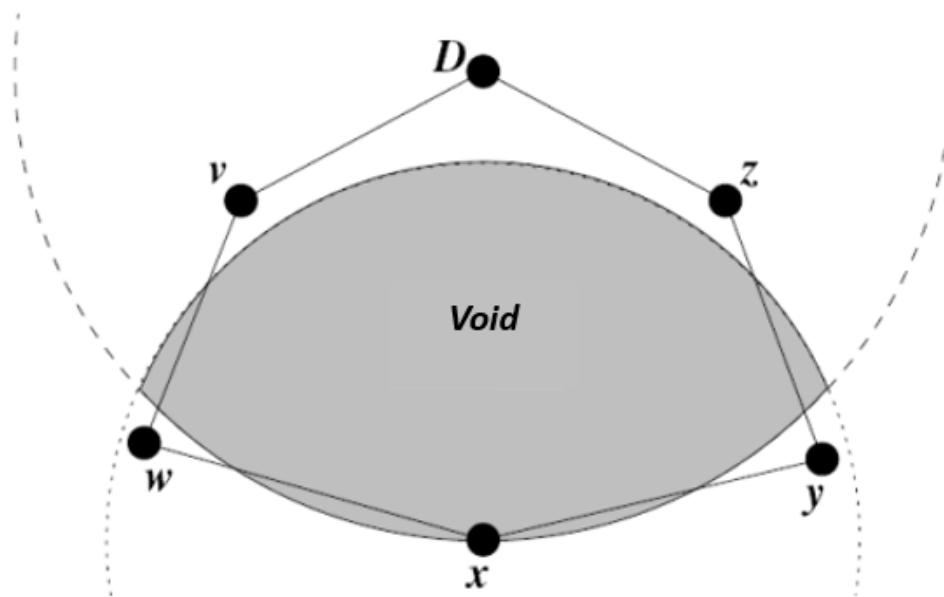


Figure 3.2 - Exemple d'une situation de vide [23]

La figure 3.2 montre un exemple d'une situation de vide ou il n'existe aucun nœud voisin entre l'intersection du cercle qui détermine la portée de communication du nœud émetteur X et celle du destinataire D. Dans cette situation, le protocole utilise une méthode temporaire pour acheminer le paquet.

Alors le paquet sera acheminé en utilisant le chemin :

$X \rightarrow W \rightarrow V \rightarrow D$ ou bien $X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow D$.

III.2.1.2. Transmission de périmètre (Perimeter Forwarding)

Le routage par périmètre repose sur la construction d'un graphe planaire des nœuds, généralement à l'aide de structures comme le graphe de Gabriel ou le graphe relatif aux voisins.

Dans ce mode, les paquets sont transférés autour de la face du graphe planaire jusqu'à ce qu'un nœud soit trouvé qui permet de reprendre le routage gourmand ou jusqu'à atteindre directement la destination.

III.3. Le protocole CGPSR (Compass GPSR)

Dans ce protocole, nous avons apporté des modifications au protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) en changeant la méthode Greedy utilisée pour déterminer le prochain saut par la stratégie Compass. Cette stratégie sélectionne le prochain saut en minimisant le décalage angulaire vers la destination.

III.4. Le protocole CGGPSR (Compass Greedy GPSR)

Dans ce protocole, nous avons apporté des modifications au protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) en y intégrant la stratégie Compass pour améliorer la sélection du prochain saut. Le protocole GPSR, dans sa forme originale, utilise une stratégie "Greedy" pour acheminer les paquets, en choisissant le nœud voisin le plus proche de la destination finale. Pour améliorer cette approche, nous avons introduit la stratégie Compass dans le GPSR et nous avons baptisé le protocole CGGPSR. Dans CGGPSR, le choix du prochain saut se fait en fonction du meilleur décalage angulaire vers la destination. Au départ, le nœud transmetteur sélectionne le voisin le plus proche de la destination dans un angle α ne dépassant pas 30° . Si aucun voisin n'est repéré dans cet angle, l'angle est augmenté de 10° jusqu'à arriver à un angle de 180° . Dans le cas où aucun nœud n'est repéré, le mécanisme de périmètre du GPSR original est activé pour éviter le vide. La figure 3.3 ci-dessous illustre le processus de sélection du prochain saut avec la stratégie Compass intégrée.

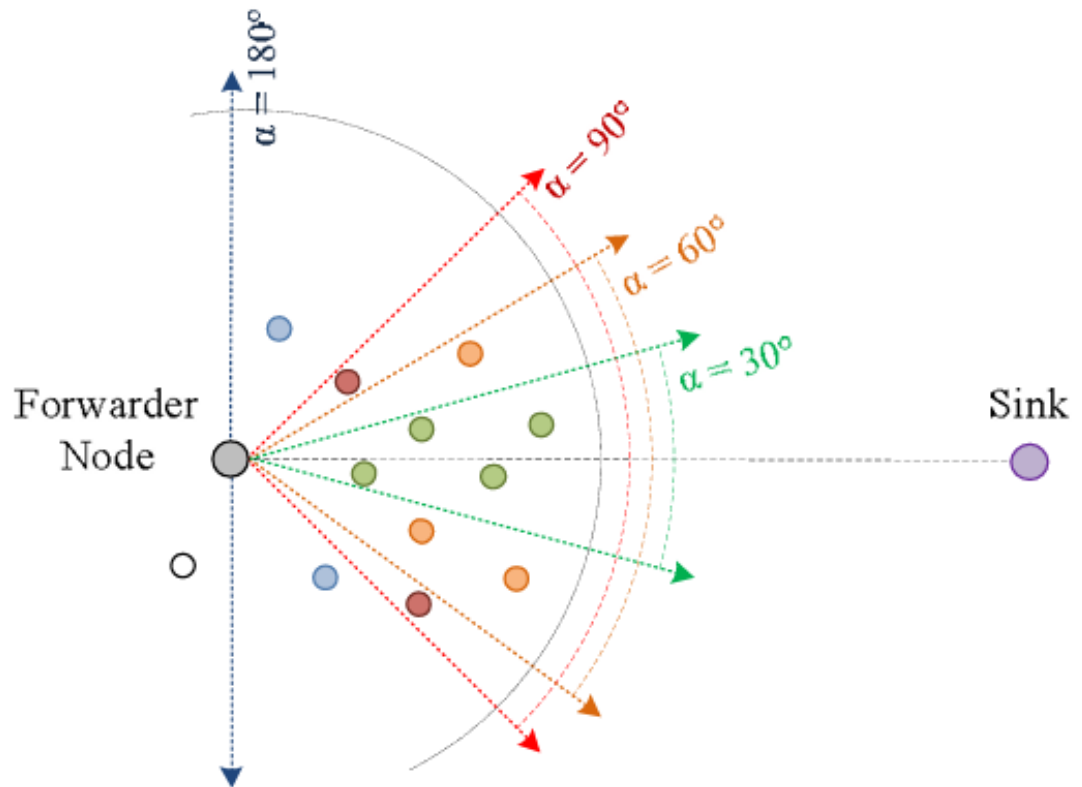


Figure 3.3 - Processus de sélection du prochain saut avec la stratégie Compass [26]

III.5. Outils d'évaluation

Cette section présente les outils logiciels nécessaires pour évaluer les trois protocoles GPSR, CGPSR et CGGPSR. Pour ce but, nous avons employé le simulateur OMNeT++ 6.0.2 et le Framework INET 4.5.

III.5.1. Simulateur OMNeT++

OMNeT++ [28] (Objective Modular Network Testbed in C++) est un logiciel de simulation gratuit et orienté objet qui fonctionne en utilisant le langage C++. Il ne se spécialise pas dans un domaine spécifique, mais est employé dans divers domaines. Il intègre un environnement de développement intégré avec un éditeur graphique basé sur le langage NED pour les fichiers.

III.5.1.1. Architecture d'OMNeT++

Dans la figure 3.4, on peut voir que les modèles OMNeT++ sont constitués d'un ensemble de modules hiérarchiquement imbriqués. La bibliothèque de simulation OMNeT++ est utilisée pour écrire des modules simples en C++, qui contiennent les algorithmes spécifiques au modèle

implémenté. Ces modules simples se rassemblent pour former des modules composés, avec des connexions gérées par des ports ou gates.

- Les modules simples sont conçus en C++ et chaque module simple est lié à un fichier.cc et un fichier .h.

- Plusieurs modules simples forment les modules composés.

Chaque module a ses paramètres définis dans un fichier .ned ou dans un fichier .ini.

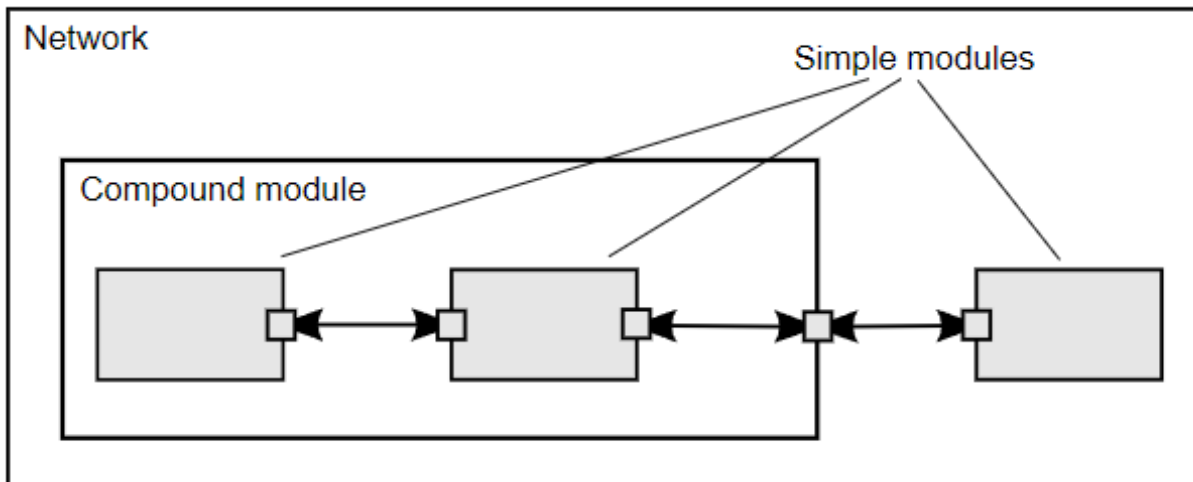


Figure 3.4 - Architecture d'OMNeT++ [28]

III.5.1.2. Les fichiers d'OMNeT ++

- Fichier .ned : Pour décrire le réseau, on peut utiliser le langage NED en deux manières : graphiquement (Design) (voir figure 3.5) ou textuellement (Source) (voir figure 3.6) , pour spécifier les paramètres et les gates d'un module.

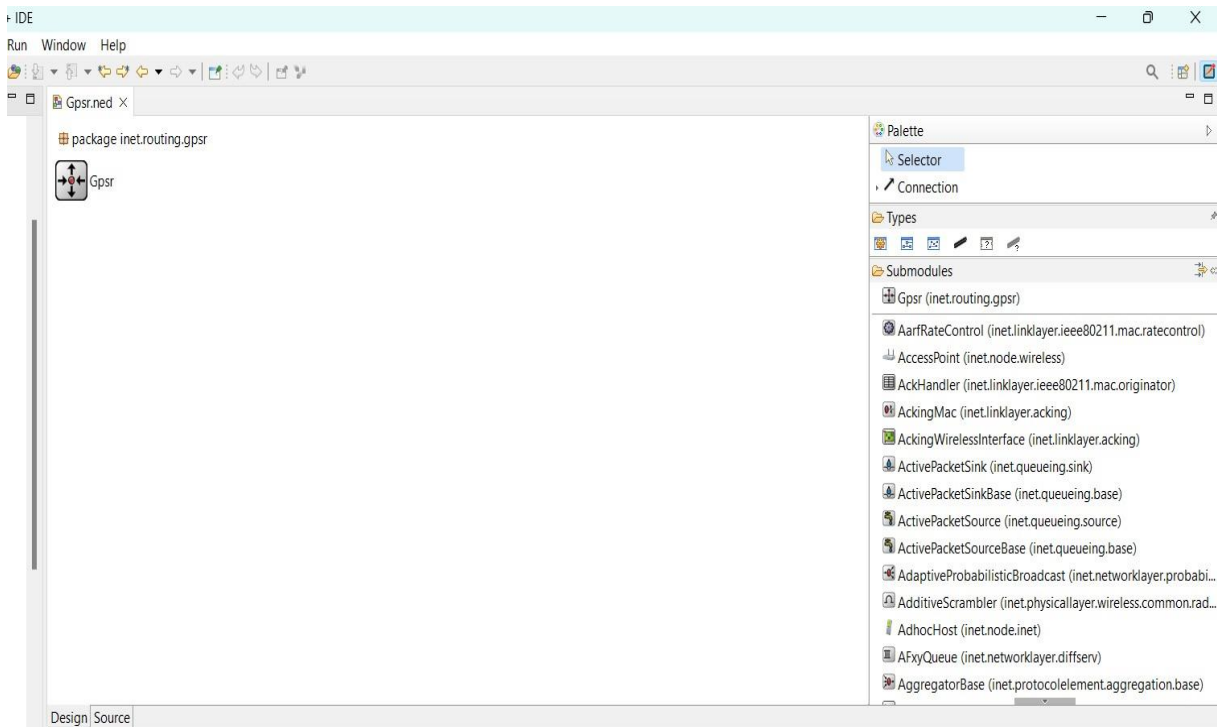


Figure 3.5 - Fichier .ned de manière graphique

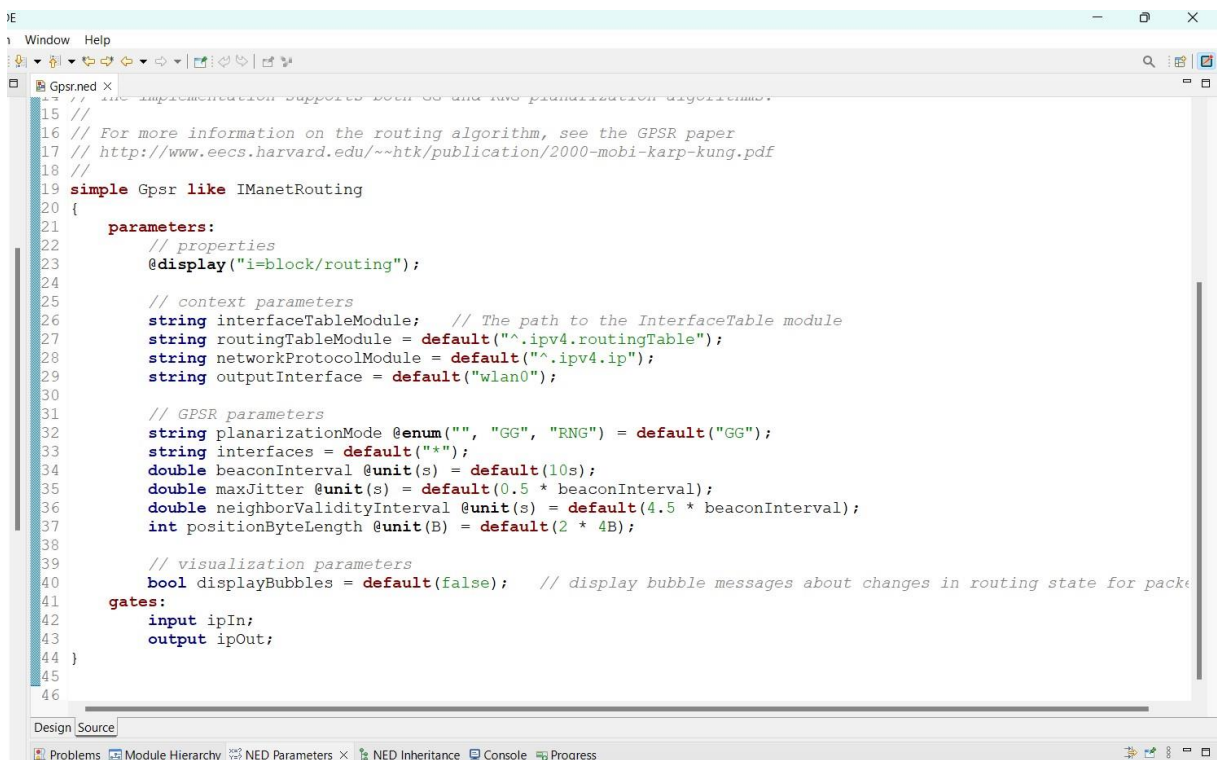
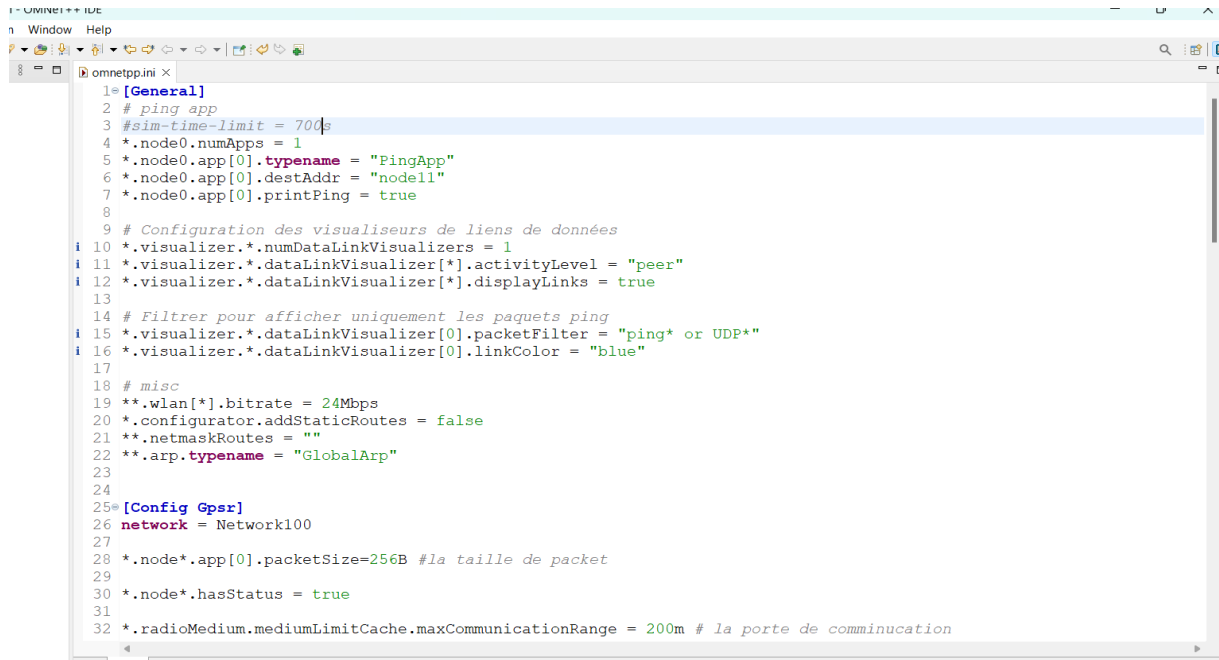


Figure 3.6 - Fichier .ned de manière textuelle

- Fichier .ini : Il est intimement lié au fichier NED, ce qui autorise l'utilisateur à initier les paramètres des différents modules et à configurer la topologie du réseau. La figure 3.7 montre un exemple d'un fichier .ini



```
1=[General]
2 # ping app
3 #sim-time-limit = 700s
4 *.node0.numApps = 1
5 *.node0.app[0].typename = "PingApp"
6 *.node0.app[0].destAddr = "node11"
7 *.node0.app[0].printPing = true
8
9 # Configuration des visualiseurs de liens de données
10 *.visualizer.*.numDataLinkVisualizers = 1
11 *.visualizer.*.dataLinkVisualizer[*].activityLevel = "peer"
12 *.visualizer.*.dataLinkVisualizer[*].displayLinks = true
13
14 # Filtrer pour afficher uniquement les paquets ping
15 *.visualizer.*.dataLinkVisualizer[0].packetFilter = "ping* or UDP*"
16 *.visualizer.*.dataLinkVisualizer[0].linkColor = "blue"
17
18 # misc
19 **.wlan[*].bitrate = 24Mbps
20 *.configurator.addStaticRoutes = false
21 **.netmaskRoutes = ""
22 **.arp.typename = "GlobalArp"
23
24
25=[Config Gpsr]
26 network = Network100
27
28 *.node*.app[0].packetSize=256B #la taille de packet
29
30 *.node*.hasStatus = true
31
32 *.radioMedium.mediumLimitCache.maxCommunicationRange = 200m # la porte de comminucation
```

Figure 3.7 - Exemple d'un fichier .ini

- Fichier .msg : L'interaction entre les modules se fait en communiquant des messages. Ces messages peuvent être définies dans un fichier .msg.

III.5.2. Framework INET

Dans OMNeT++, la simulation des réseaux se fait avec INET [29], un Framework open source. Il intègre diverses technologies de l'architecture TCP/IP, telles que IPv4, IPv6, TCP, UDP, ainsi que des protocoles et des modèles.

INET offre aussi la faculté de faire des simulations de réseaux sans fil, de réseaux mobiles et de réseaux ad hoc.

III.5.3. Caractéristiques et fonctionnalités d'INET

Le tableau 3-1 ci-dessous résume les caractéristiques et fonctionnalités du framework INET.

Types de réseaux	Réseaux filaires, sans fil, mobiles, ad hoc et de capteurs.
La couche réseau	TCP, UDP, IPv4, IPv6, OSPF, etc.
Protocoles de couche liaison	Ethernet, IEEE 802.11, divers protocoles pour capteurs, etc.
Mobilité des nœuds	Support de la mobilité des nœuds
Visualisation avancée	Support de la visualisation avancée
Autres composants	Divers autres protocoles et modèles

Tableau 3-1 : Caractéristiques et fonctionnalités d'INET

III.6. Evaluation des protocoles GPSR, CGPSR et CGGPSR

L'objectif de cette partie est de définir les critères d'évaluation pour évaluer les performances des protocoles GPSR, CGPSR et CGGPSR.

III.6.1. Critères d'évaluation

Pour évaluer les performances des protocoles GPSR, CGPSR et CGGPSR, quatre métriques ont été sélectionnées :

III.6.1.1. Le taux de livraison de paquets

C'est un élément indispensable pour évaluer les performances d'un protocole. Le taux de livraison est un pourcentage qui peut être calculé en divisant le nombre total de paquets reçus par la destination par le nombre total de paquets émis par la source, puis en multipliant le tout par 100.

$$\text{Taux de livraison} = \frac{\text{nombre total de paquets reçus par la destination}}{\text{nombre total de paquets émis par la source}} \times 100$$

III.6.1.2. Le délai moyen de bout en bout

Le délai dans un réseau correspond à la différence entre le moment où un paquet est reçu par le destinataire et le moment où ce même paquet a été émis par la source et le délai moyen est la somme de ces délais divisée par le nombre de paquets reçus par la destination.

$$\text{Délai}(i) = \text{temps de réception paquet } (i) - \text{temps d'émission paquet } (i)$$

$$\text{Délai moyen} = \frac{\sum_{i=1}^K \text{Délai}(i)}{K}$$

K : le nombre de paquets reçus par la destination

III.6.1.3. Le débit moyen

Le débit représente la quantité de données transférées pendant une période.

$$\text{Débit moyen} = \frac{\sum_{i=1}^K \text{taille du paquet } (i) \text{ reçu en bits}}{\sum_{i=1}^K \text{Délai}(i)}$$

K : le nombre de paquets reçus par la destination

III.6.1.4. La durée de vie du réseau

Elle se réfère à la période pendant laquelle les nœuds capteurs consomment de l'énergie, jusqu'à ce que le premier capteur tombe en panne à cause de sa batterie déchargée.

III.6.2. Description de la simulation

Nous avons pris en compte un réseau de capteurs multimédia sans fil (RCMSF) qui utilise des nœuds déployés aléatoirement sur une surface de 700 m x 700 m. Un nœud source est positionné à (200, 200) et une seule destination est située à (650, 650). Pour réaliser les simulations, nous avons choisi la taille du réseau : 30, 50, 100, 150, 200 nœuds.

Le tableau 3-2 présente les divers paramètres que nous allons utiliser pour réaliser les simulations.

Paramètre	Valeur
Nombre de Nœuds	30,50,100,150,200
Durée de simulation (s)	900
Surface de déploiement (m X m)	700 X 700
Porté de communication (m)	100
Taille d'un paquet (octet)	1024
Energie initiale (Joule)	0.2
Puissance de transmission (mW)	75
Puissance de réception (mW)	50
Puissance de sommeil (mW)	0.001

Tableau 3-2 : Paramètres de simulation

III.6.3. Résultats des simulations

Lors la simulation, nous avons obtenu les résultats suivants :

III.6.3.1. Taux de livraison de paquets

La figure 3.8 montre que le protocole GPSR a un taux de livraison des paquets plus élevé que le protocole CGPSR et CGGPSR.

La diminution du taux de livraison des paquets est observée dans les trois protocoles en fonction de l'augmentation du nombre de nœuds dans le réseau de capteurs multimédia sans fil, ce qui peut être attribué à la décharge ou à la mort des nœuds intermédiaires lors de la transmission des paquets vers la destination.

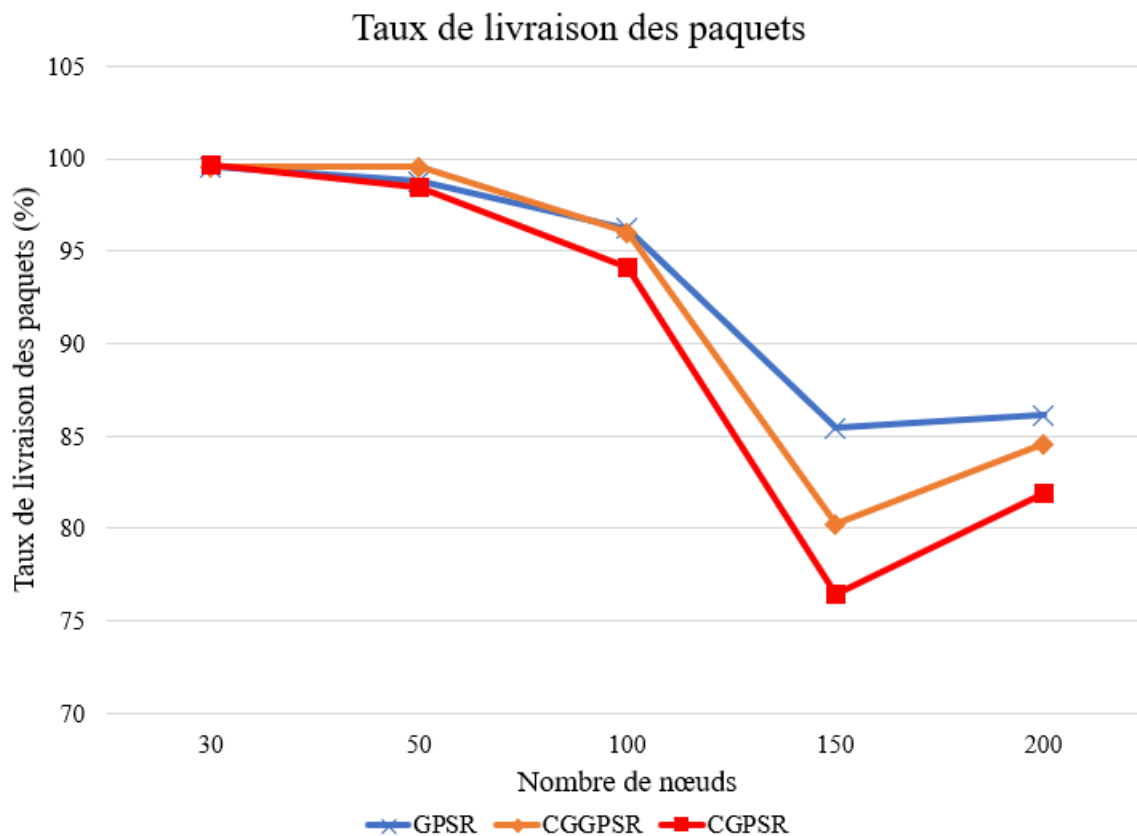


Figure 3.8 - Taux de livraison de paquets en fonction de nombre de nœuds

III.6.3.2. Durée de vie du réseau

La figure 3.9 présente la durée de vie du réseau en fonction du nombre de nœuds.

En se basant sur cette figure, CGGPSR tend à offrir une durée de vie du réseau supérieure à celle de GPSR et CGPSR dans les topologies de réseau plus petites, ce qui peut être attribué à sa stratégie améliorée utilisée pour choisir le prochain saut. Cependant, une fois que le nombre de nœuds du réseau augmente, la durée de vie du réseau diminue pour les trois protocoles.

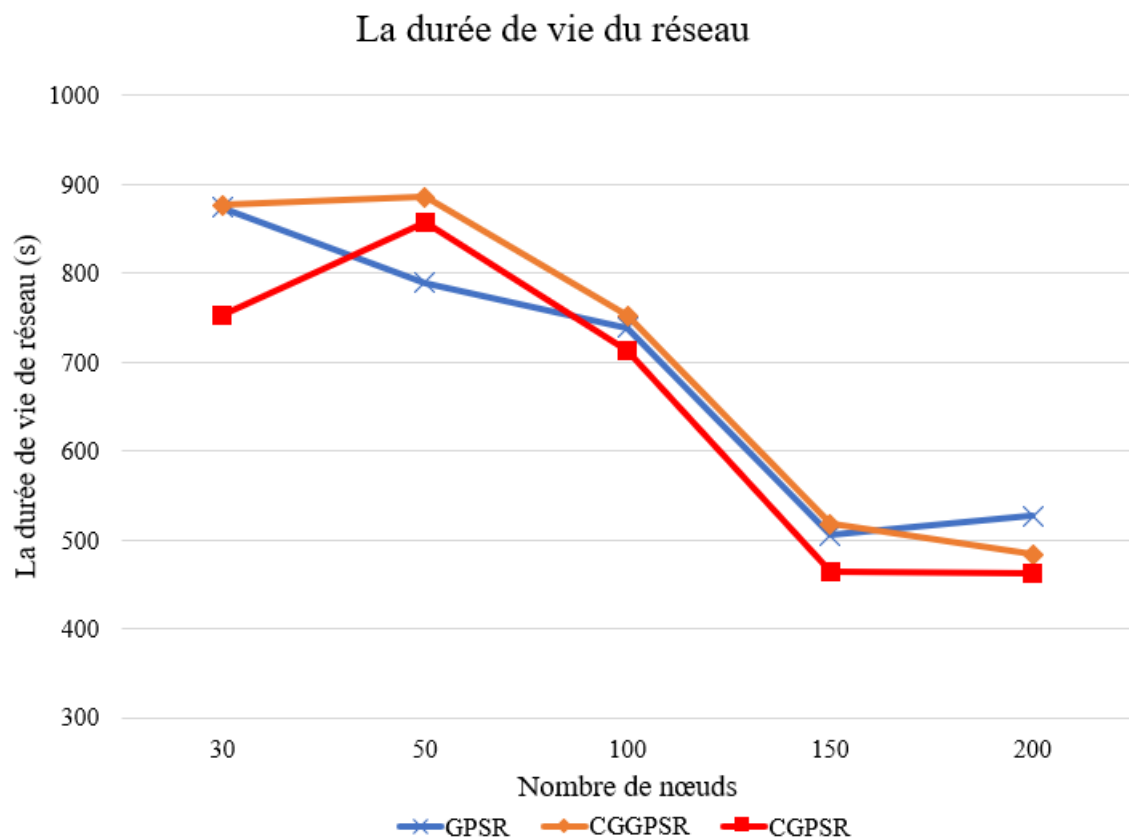


Figure 3.9 - Durée de vie du réseau en fonction de nombre de nœuds

III.6.3.3. Délai moyen de bout en bout

Dans la figure 3.10, on peut observer le délai moyen en fonction du nombre de nœuds.

Les deux protocoles GPSR et CGGPSR ont des performances similaires et pour CGPSR affiche un délai plus élevé. Au fur et à mesure que le réseau augmente, GPSR devient plus performant, peut-être en raison de CGGPSR qui offre des délais de traitement plus longs que GPSR. Cela peut être causé par plusieurs facteurs, tels que la méthode utilisée pour acheminer les paquets.

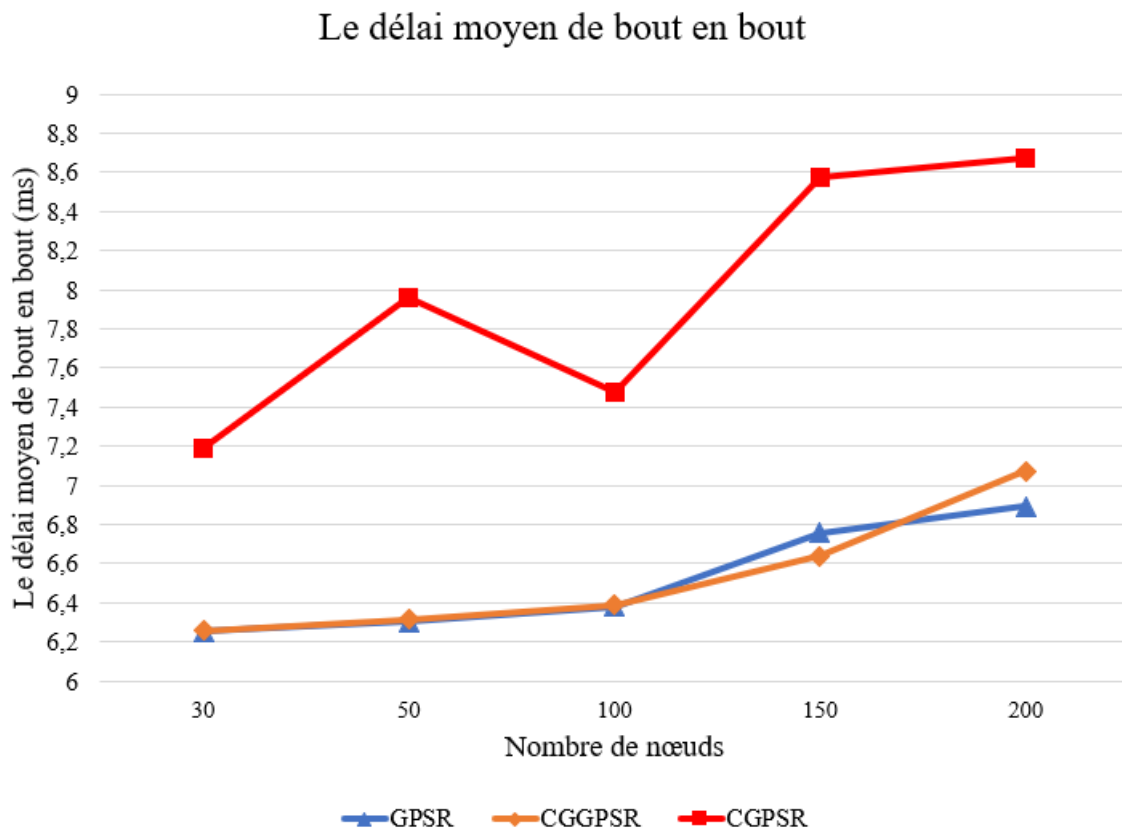


Figure 3.10 - Délai moyen en fonction de nombre de nœuds

III.6.3.4. Débit moyen

La figure 3.11 montre le débit moyen en se basant sur le nombre de nœuds.

D'après les résultats obtenus, il est clair que le débit moyen de CGPSR est inférieur, les deux protocoles GPSR et CGGPSR présentent des performances similaires. Cependant, à mesure que le nombre de nœuds augmente, on observe une diminution du débit moyen pour les trois protocoles, avec un débit moyen légèrement supérieur pour CGGPSR par rapport à GPSR.

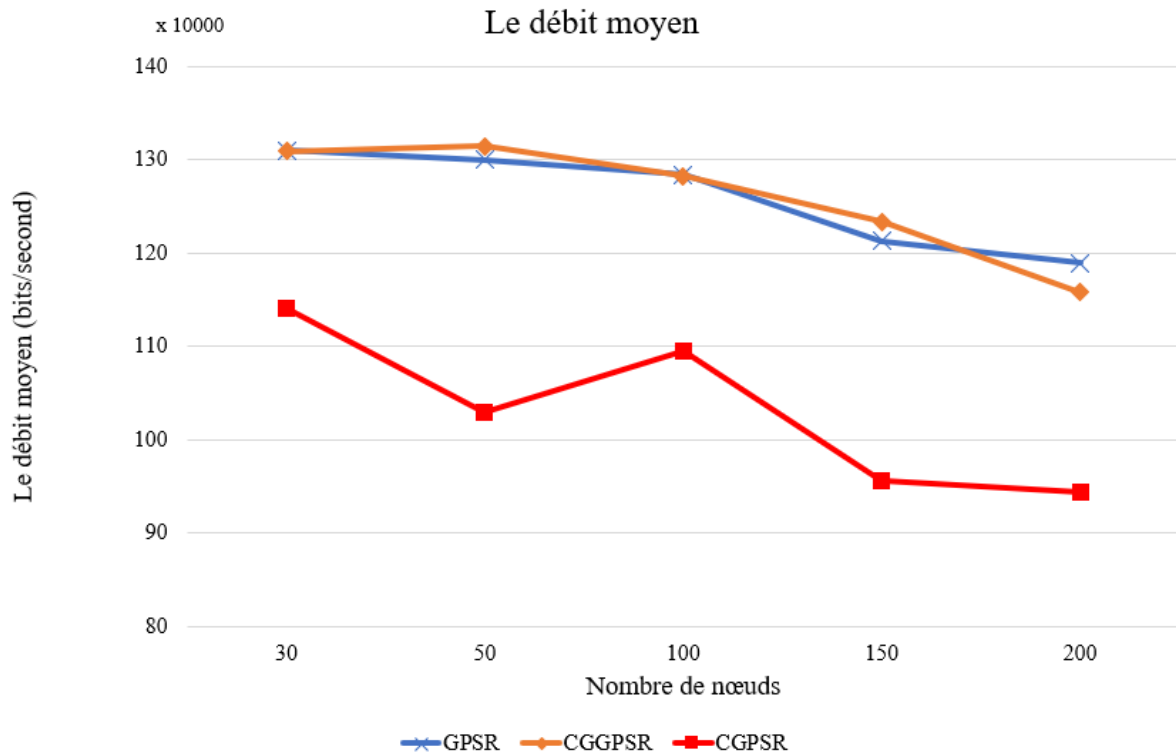


Figure 3.11 - Débit moyen en fonction de nombre de nœuds

III.6.4. Synthèse

D'après les résultats obtenus, nous observons que le protocole CGPSR, qui utilise uniquement la stratégie Compass, est nettement moins performant que les deux autres protocoles : GPSR, basé uniquement sur la stratégie Greedy, et CGGPSR, qui combine les stratégies Compass et Greedy. Lorsque le nombre de nœuds est faible, le protocole CGGPSR offre de bonnes performances par rapport aux deux autres protocoles. Cependant, lorsque le nombre de nœuds augmente, le protocole GPSR montre une meilleure performance que les deux autres.

Le protocole CGGPSR devient moins performant lorsque le nombre de nœuds augmente, car pour déterminer le prochain saut, il utilise la stratégie Compass. Cette méthode nécessite le calcul de l'angle de chaque nœud existant dans sa portée de communication, ce qui augmente la complexité et les délais de traitement.

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail le protocole de routage GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) dans le contexte des Réseaux de capteurs multimédia sans fil

(RCMSF). Nous avons commencé par l'expliquer en détaillant ses mécanismes de transmission et son fonctionnement. De plus, nous avons proposé deux modifications du protocole GPSR : le protocole CGPSR, qui remplace la stratégie Greedy de sélection du prochain saut par la méthode Compass, et le protocole CGGPSR, qui intègre également la méthode Compass pour la sélection du prochain saut.

Ensuite, nous avons détaillé les outils de simulation utilisés, notamment OMNeT++ 6.0.2, en décrivant son architecture, ses fichiers principaux, et le Framework INET 4.5.

Enfin, nous avons évalué le protocole GPSR, CGPSR et CGGPSR en utilisant plusieurs critères de performance. Les résultats obtenus lors de nos simulations indiquent que le protocole proposé CGGPSR a montré de meilleures performances dans les réseaux RCMSF avec un nombre de nœuds réduit.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

Les réseaux de capteurs multimédias sans fil (RCMSF) représentent une avancée significative par rapport aux réseaux de capteurs sans fil (RCSF) en raison de leur capacité à traiter des données multimédia telles que des images, des vidéos et du son. Néanmoins, ce progrès technologique demande une plus grande capacité de traitement, de stockage et de bande passante, ainsi qu'une gestion plus stricte de l'énergie.

Dans cette étude, nous avons abordé plusieurs aspects. Dans le premier chapitre, nous avons examiné l'état de l'art sur les réseaux de capteurs multimédia. Ensuite, dans le deuxième chapitre, nous avons étudié le routage dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil (RCMSF). Enfin, dans le troisième chapitre, nous avons évalué le protocole de routage géographique GPSR ainsi que ses versions modifiées : le CGPSR, qui utilise la stratégie Compass au lieu de la stratégie Greedy, et le CGGPSR, qui combine les deux stratégies Compass et Greedy. Nous avons utilisé le simulateur OMNeT++ 6.0.2 et le framework INET 4.5.2 pour cette évaluation. Les résultats montrent que le CGGPSR présente des performances améliorées en termes de durée de vie du réseau, de délai, de débit moyen et de taux de livraison des données par rapport au GPSR et au CGPSR lorsque le nombre de nœuds est faible. Cependant, à mesure que la topologie du réseau augmente, les performances du CGGPSR diminuent.

Comme perspective de notre travail, nous espérons qu'à l'avenir nous pourrions améliorer le protocole CGGPSR en adaptant ses performances aux besoins spécifiques des RCMSF. Cette amélioration consisterait à ajouter à la distance d'autres critères de QoS pour le choix du prochain saut tel que la consommation d'énergie, la qualité du lien, le délai et autres. Cela permettrait de mieux optimiser l'utilisation des ressources énergétiques dans le réseau, ce qui est crucial pour les applications temps réel dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil.

Références Bibliographiques

- [1] I. F. Akyildiz, Weilian Su, Sankarasubramaniam et E. Cayirci, «A survey on sensor networks,» *IEEE Communications*, août 2002.
- [2] O. A. Fdili, «Optimisation multicritères de la qualité de service dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil,» Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc, 2015.
- [3] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam et E. C, «Wireless sensor networks: a survey,» *Computer Networks (Elsevier)*, vol. 38, n° 4, pp. 393-422, Mars 2002.
- [4] M. Hadjila, «Protocoles de routage économes en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil,» Université de Tlemcen, Algérie, Tlemcen, 2009.
- [5] K. Lin, J. Yu, J. Hsu, S. Zahedi, D. Lee et J. Fried, «Helimote: Enabling long-lived sensor networks through solar energy harvesting,» chez *Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'05)*, 2005.
- [6] I. F. Akyildiz et E. P. Stuntebeck, «Wireless underground sensor networks: Research challenges,» *Ad Hoc Networks*, vol. 4, n° 6, pp. 669-686, 2006.
- [7] J. Heidemann, W. Ye, J. Wills, A. Syed et Y. Li, «Research challenges and applications for underwater sensor networking,» *Proceedings of the IEEE International Conference on Wireless Communications and Networking (WCNC'2006)*, pp. 228-235, Novembre 2006.
- [8] I.F.Akyildiz, T. Melodia et K. R. Chowdhury, «A survey on wireless multimedia sensor networks,» *Computer Networks*, vol. 51, n° 4, pp. 921-960, Mars 2007.
- [9] I. F. Akyildiz et M. C. Vuran, *Wireless Sensor Networks*, vol. 4, John Wiley & Sons Ltd, Éd., New York: Wiley, 2010.
- [10] I. F. Akyildiz, T. Melodia et K. R. Chowdhury, «Wireless multimedia sensor networks: Applications and testbeds,» *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, n° 10, pp. 1588-1605, Octobre 2008.

- [11] S. Aswale et V.R. Ghorpade, «Survey of QoS routing protocols in wireless multimedia sensor network,» *Journal of Computer Networks and Communications*, p. 7, 2015.
- [12] P. Milica, T. Zhilbert, D. Goran et M. Veljko, «A survey of military applications of wireless sensor networks,» *The Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO'12)*, pp. 196-199, 2012.
- [13] J. Campbell, P. B. Gibbons, S. Nath, P. Pillai, S. Seshan et R. Sukthankar, «IrisNet: An Internet-Scale Architecture for Multimedia Sensors,» *Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia (MULTIMEDIA '05)*, pp. 81-88, Novembre 2005.
- [14] J. Al-Karaki et A. Kamal, «Routing techniques in wireless sensor networks: a survey,» *IEEE Wireless Communications*, vol. 11, n° 6, pp. 6-28, 2004.
- [15] W.Dargie et C.Poellabauer, *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*, J. W. & S. Ltd, Éd., 2011.
- [16] L.Khelladi et N.Badache, «Les réseaux de capteurs : état de l'art, rapport de recherche,» Laboratoire LSI, USTHB, 2004.
- [17] A. CHIKH, «Routage multi-chemin dans les réseaux de capteurs multimédias sans fil,» Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen , Algérie, 2021.
- [18] K. Beydoun, «Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs,» Université de Franche-Comté ,France, 2009.
- [19] N. Doufene et H. Hadjammar, «Routage dans les réseaux de capteurs : optimisation du protocole Directed Diffusion,» Institut National de Formation en Informatique (INI), Algérie, 2006.
- [20] E. Kaplan et C. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, Artech House, 2006.
- [21] E. Kranakis, H. Singh et J. Urrutia, «Compass Routing on Geometric Networks,» *11th Canadian Conference on Computational Geometry*, pp. 51-54, 1999.
- [22] T. Hou et V. O. K. Li, «Transmission range control in multihop packet radio networks,» *IEEE Transactions on Communications*, vol. 34, n° 9, pp. 910-917, 1986.
- [23] B. Karp et H. T. Kung, «GPSR : Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks,» *Proceedings of the 6th Annual International*

- Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom '00*, pp. 243-254, 2000.
- [24] H. Takagi et L. Kleinrock, «Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals,» *IEEE Transactions on Communications*, vol. 32, n° 3, pp. 246-257, Mars 1984.
- [25] L. Shu, Y. Zhang, L. T. Yang, Y. Wang, M. Hauswirth et N. Xiong, «TPGF: geographic routing in wireless multimedia sensor networks,» *Telecommunication Systems*, vol. 44, pp. 79-95, 2010.
- [26] S. Medjiah, T. Ahmed et F. Krief, «Adaptive Greedy-Compass Energy-Aware Multipath Routing Protocol for WMSNs,» *Proceedings of the 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 1-6, 2010.
- [27] S. Medjiah, T. Ahmed et F. Krief, «GEAMS : A Geographic Energy-Aware Multipath Stream-based routing protocol for WMSNs,» *International Symposium Global Information Infrastructure (GIIS'09)*, pp. 1-8, 2009.
- [28] «OMNeT++ Discrete Event Simulator,» 01 04 2024. [En ligne]. Available: <https://omnetpp.org/>. [Accès le 11 06 2024].
- [29] «INET user's guide,» [En ligne]. Available: <https://inet.omnetpp.org/docs/users-guide/>. [Accès le 11 06 2024].

Résumé

Le routage dans les réseaux de capteurs multimédia sans fil (RCMSF) pose des défis importants en raison des exigences spécifiques de ces réseaux. Dans le routage géographique, diverses stratégies existent pour la sélection du prochain saut, telles que les stratégies Compass et Greedy. Dans ce contexte, nous avons concentré notre étude sur le protocole de routage GPSR pour évaluer ces deux stratégies et déterminer laquelle est la meilleure en termes de taux de livraison de paquets, de débit moyen, de délai moyen et de durée de vie du réseau.

Mot clé : RCMSF, le routage géographique, Compass, Greedy, GPSR.

Abstract

Routing in wireless multimedia sensor networks (WMSNs) poses significant challenges due to the specific requirements of these networks. In geographic routing, various strategies exist for selecting the next hop, such as the Compass and Greedy strategies. In this context, we have focused our study on the GPSR routing protocol to evaluate these two strategies and determine which is the best in terms of packet delivery rate, average throughput, average delay and network lifetime.

Keyword: WMSNs, geographic routing, Compass, Greedy, GPSR.

ملخص

يطرح التوجيه في شبكات استشعار الوسائط المتعددة اللاسلكية (WMSNs) تحديات كبيرة بسبب المتطلبات المحددة لهذه الشبكات. في التوجيه الجغرافي، توجد استراتيجيات مختلفة لاختيار القفزة التالية، مثل استراتيجيات البوصلة والجشع. في هذا السياق، ركزنا في دراستنا على بروتوكول التوجيه GPSR لتقييم هاتين الاستراتيجيتين وتحديد أيهما أفضل من حيث معدل تسليم الحزم ومتوسط الإنتاجية ومتوسط التأخير وعمر الشبكة.

الكلمات المفتاحية: شبكات استشعار الوسائط المتعددة اللاسلكية، التوجيه الجغرافي، البوصلة، الجشع، GPSR.