

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة محمد البشير الابراهيمي برج بوعريريج

**Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.**

كلية الرياضيات والإعلام الآلي

**Faculté de Mathématiques et informatique**

قسم الإعلام الآلي

**Département de l'informatique**

---

## **Mémoire**

**En vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine : Mathématiques et Informatique**

**Filière : Informatique**

**Spécialité : Réseaux et multimédias**

## **Intitulé**

**Etude Comparative Entre Deux Protocoles De Routage  
dans Les Réseaux De Capteur Sans Fil 'AODV et DSR'.**

**Réaliser par : MANSOUR Farid**

**FENICHE Farid**

**Encadrant : Mme BELALTA Ramla**

**Année universitaire : 2020/2021**

# **Dédicace**

## **Je Dédie ce modeste travail**

A mes très chers parents et mes frères et ma sœur.

A ma femme et ma petite fille Manassa pour leurs amours, leurs encouragements et leurs confiances en moi.

A tous mes amis, mes collègues et mes camarades.

A tous les enseignants et les fonctionnaires du département d'informatique.

**FARID.Mansour**

# **Dédicace**

## **Je Dédie ce modeste travail**

A mes très chers parents pour les sacrifices qu'ils ont faits, leurs amours, leurs encouragements et leurs confiances en moi.

A ma femme, ma fille Hanin mes deux enfants Achraf et Anis pour leurs amours

A mes frères.

A tous mes amis, mes collègues et mes camarades.

A tous les enseignants et les fonctionnaires du département d'informatique.

**FARID.Feniche**

## Remerciements

A l'issue de ce modeste travail nous adressons nos remerciements premièrement au DIEU tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant ces années d'études.

Au terme de ce travail, on tient à remercier cordialement :

Madame **BELALTA Ramla** qui a dirigé ce travail.

Tous les membres de jury d'avoir accepté de juger et d'évaluer notre travail.

Je remercie tous les enseignants du département informatique. Pour tout ce qu'ils m'ont apporté et enseigné.

Un grand merci à tous ceux qui m'ont moralement ou pratiquement soutenu et dont ces lignes ont accidentellement oublié de mentionner.

## Résumé

La technologie des réseaux de capteurs est un domaine de recherche très étendu, le principal problème de ce type de réseau est l'énergie limitée, donc afin de maximiser la durée de vie du réseau, les économies d'énergie sont l'un des domaines de recherche les plus importants. Il existe différents protocoles de routage qui peuvent offrir des avantages significatifs aux réseaux de capteurs sans fil en termes de performances et de fiabilité. De nombreux protocoles de routage sont conçus pour les réseaux de capteurs sans fil. Mais nous avons choisi d'étudier AODV et DSR, qui sont des protocoles conçus à l'origine pour les réseaux auto-organisé afin d'étudier leur adaptabilité au RCSF. Le simulateur NS-3 est utilisé pour comparer les performances de ces deux protocoles en localisant les indicateurs de débit, de délai de bout en bout et de taux de transmission de paquets.

**Mots clés :** Réseaux de capteurs sans fil, Consommation d'énergie, Protocoles de routage, Evaluation des performances, AODV, DSR, simulation, NS3.

## Abstract

Sensor network technology is a very large field of research, the main problem of this type of network is limited energy, so in order to maximize the life of the network, energy saving is one of the areas most important research. There are different routing protocols that can provide significant benefits to wireless sensor networks in terms of performance and reliability. Many routing protocols are designed for wireless sensor networks. But we chose to study AODV and DSR, which are protocols originally designed for self-organizing networks in order to study their adaptability to RCSF. The NS-3 simulator is used to compare the performance of these two protocols by locating throughput, end-to-end delay, and packet transmission rate indicators.

**Keywords:** Wireless sensors network, energy consumption, Routing Protocol, Evaluation of performances, AODV, DSR, Simulation, NS3.

## ملخص

تعد تقنية شبكة الاستشعار مجالاً بحثياً كبيراً جداً، والمشكلة الرئيسية لهذا النوع من الشبكات هي الطاقة المحدودة، لذلك من أجل زيادة عمر الشبكة إلى الحد الأقصى، يعد توفير الطاقة أحد أهم مجالات البحث. هناك بروتوكولات توجيه مختلفة يمكن أن توفر فوائد كبيرة لشبكات الاستشعار اللاسلكية من حيث الأداء والموثوقية. تم تصميم العديد من بروتوكولات التوجيه لشبكات الاستشعار اللاسلكية. لكننا اخترنا دراسة AODV و DSR، وهما بروتوكولات مصممة أصلاً لشبكات التنظيم الذاتي من أجل دراسة قدرتها على التكيف مع RCSF. يتم استخدام جهاز محاكاة NS-3 لمقارنة أداء هذين البروتوكولين من خلال تحديد مؤشرات معدل نقل البيانات، والتأخير من طرف إلى طرف، ومعدل إرسال الرزم.

# Table des matières

|  |      |
|--|------|
| <b>Dédicace</b> .....  | I    |
| <b>Dédicace</b> .....  | II   |
| <b>Remerciements</b> .....   | III  |
| <b>Résumé</b> .....  | IV   |
| <b>Table des matières</b> .....  | V    |
| <b>Liste des figures :</b> .....   | VII  |
| <b>Liste Des Tableaux :</b> .....  | VIII |
| <b>Liste Des Abréviations</b> .....  | IX   |
| <b>Introduction générale :</b> .....   | 1    |
| <b>Chapitre I : Généralités Sur Les Réseaux De Capteurs Sans Fil</b> .....               | 3    |
| 1. Introduction : .....  | 3    |
| 2. Définition d'un capteur : .....   | 3    |
| 3. Architecture d'un capteur sans fil : .....  | 3    |
| 4. Les composants d'un capteur sans fil : .....  | 4    |
| 5. Classification des capteurs : .....   | 4    |
| 6. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor network) :.....                          | 5    |
| 7. Caractéristiques des réseaux des capteurs sans fil : .....                            | 6    |
| 8. Architectures d'un réseau de capteurs sans fil : .....                                | 7    |
| 9. Les technologies utilisant dans les RCSF : .....                                      | 7    |
| 10. Les topologies utilisées dans les réseaux de capteur sans fil :.....                 | 8    |
| 11. Contraintes de conception des RCSF : .....   | 8    |
| 12. Conclusion .....   | 10   |
| <b>Chapitre II : Le Routage Dans Les Réseaux De Capteurs Sans Fil</b> .....              | 12   |
| 1. Introduction : .....  | 12   |
| 2. Définition du routage : .....   | 12   |
| 3. Routage dans les réseaux de capteurs sans fil : .....                                 | 12   |
| 4. Les critères de conception d'un protocole de routage dans les RCSFs :.....            | 13   |
| 5. Classification des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil :..... | 17   |
| 6. Les critères de performance des protocoles de routage RCSF : .....                    | 20   |
| 7. Facteurs de conception de protocoles de routage : .....                               | 21   |
| <b>Chapitre III : La Présentation Des Deux Protocoles</b> .....                          | 15   |
| 1. Introduction : .....  | 15   |
| 2. Etude des protocoles de routage : .....   | 15   |

|   |           |
|---|-----------|
| Conclusion :.....   | 24        |
| <b>Chapitre IV : La Simulation Et Discussion Des Résultats.....</b> | <b>42</b> |
| 1. Introduction :.....  | 42        |
| 2. Présentation du simulateur NS3 :.....                            | 42        |
| 3. Terminologie utilisée par NS3 .....                              | 43        |
| 4. Modèle de simulation :.....                                      | 44        |
| 5. Problèmes rencontrés .....                                       | 50        |
| 6. Conclusion :.....  | 50        |
| <b>Conclusion générale : .....</b>                                  | <b>57</b> |
| <b>Liste des Références .....</b>                                   | <b>58</b> |

## Liste des figures :

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure I. 1:</b> Architecture d'un capteur sans fil .....                              | 3  |
| <b>Figure I. 2:</b> Les composants d'un capteur sans fil .....                            | 4  |
| <b>Figure I. 3:</b> Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.....                    | 7  |
| <b>Figure II. 2:</b> Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil..... | 17 |
| <b>Figure II. 3:</b> protocole plat .....   | 18 |
| <b>Figure II. 4:</b> Protocole hiérarchique .....   | 18 |
| <b>Figure III. 1:</b> Fonctionnement du protocole AODV .....                              | 16 |
| <b>Figure III. 3:</b> Inondation de RREQ et renvoie du RREP dans AODV [44].....           | 18 |
| <b>Figure III. 4:</b> Coupure de route et envoie du RERR dans AODV [44]. .....            | 19 |
| <b>Figure III. 5:</b> Découverte de route dans le protocole DSR [44].....                 | 22 |
| <b>Figure IV. 1:</b> Architecture d'un nœud sous NS-3 [45].....                           | 42 |
| <b>Figure IV. 2:</b> Taux de réception 20 nœuds.....                                      | 47 |
| <b>Figure IV. 3:</b> Nombre de paquets reçus 20 nœuds .....                               | 48 |
| <b>Figure IV. 4:</b> End 2 End Delay 20 nœuds .....                                       | 49 |

## Liste Des Tableaux :

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau III. 1:</b> Format général d'une route request [44].       | 17 |
| <b>Tableau III. 2:</b> Format général d'une route réponse [44].       | 17 |
| <b>Tableau III. 3:</b> Tableau comparatif [44].                       | 23 |
| <b>Tableau III. 4:</b> AODV avantages et inconvénients [44].          | 23 |
| <b>Tableau III. 5:</b> DSR avantages et inconvénients [44].           | 24 |
| <b>Tableau IV. 1:</b> Modèle de simulation.                           | 44 |
| <b>Tableau IV. 2:</b> résultats de la simulation des deux protocoles. | 46 |

## Liste Des Abréviations

**AODV:** Ad Hoc On-Demand Distance Vector

**DARPA:** Defense Advanced Research Projects Agency

**DATA:** information

**DSDV:** Destination-Sequenced Distance-Vector

**DSR:** Dynamic Source Routing

**FSR:** Fisheye State Routing

**GAF:** Geographic adaptive fidelity

**GPS:** Global Positioning System

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**LEACH:** Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

**MECN:** Minimum energy communication network

**NAM:** Network Animator

**NS-2:** Network Simulator version 2

**OLSR:** Optimized Link State Routing

**OTCL :** Object Tools Command Language

**RCSF :** Réseaux de Capteurs Sans Fil

**REQ:** REQuest

**RERR:** Route Error

**RREP:** route response

**RREQ:** route request

**SMECN:** Small Minimum energy communication network

**SN:** sequence number

**SPIN:** Sensor Protocol for Information via Negotiation

**TCL:** Tool Command Language

**TCP:** Transfer control Protocol

**UDP:** User Datagram Protocol

**WSN:** Wireless Sensor Network

# Introduction générale

## Introduction générale :

Les réseaux de communication sans fil sont de plus en plus populaires dans les sociétés scientifiques et industrielles. Avec leurs divers avantages qui facilitent la vie humaine, ils offrent des solutions de télésurveillance économiquement intéressantes et facilement regrettables. Un réseau de capteurs sans fil est un ensemble de capteurs indépendants à faible coût connectés à un réseau sans fil. Ce sont des réseaux sans infrastructure fixe. Ils peuvent être déployés rapidement dans des zones sensibles et/ou difficiles d'accès. Leurs tâches comprennent généralement la surveillance des zones et des mesures, ainsi que l'envoi d'alarmes à certains nœuds du réseau (appelés nœuds complexes), qui peuvent transmettre largement des informations aux centres de contrôle à distance.

Cette technologie est largement utilisée car elle est devenue un choix idéal pour fournir des solutions économiques, fiables et efficaces pour diverses applications de collecte et de traitement de données du monde réel, notamment la surveillance de la santé, la collecte de données scientifiques, la surveillance de la santé, les opérations environnementales et militaires. Afin d'établir des liens entre les travaux menés dans le cadre de notre projet, nos articles sont organisés autour des chapitres suivants :

Le premier chapitre est consacré à une étude détaillée sur les réseaux de capteurs sans fil RCSFs (leur architecture, leurs caractéristiques, leurs domaines d'applications et leurs opérations).

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les protocoles de routage utilisés dans les réseaux de capteurs sans fil RCSFs.

Dans le chapitre 3, nous nous concentrerons sur deux protocoles de routage, AODV et DSR, et leurs avantages et inconvénients, ainsi une brève comparaison entre eux. Le dernier chapitre présente le simulateur NS3 et compare les deux protocoles de routage AODV et DSR, par un exemple de simulation, nous utilisons trois métriques pour la comparaison (Taux de réception, Nombre de paquets reçus et le retard bout en bout).

# Chapitre 01

## Chapitre I : Généralités Sur Les Réseaux De Capteurs Sans Fil

### 1. Introduction :

Le réseau de capteurs sans fil est une technologie émergente et un domaine en constante évolution, et de plus en plus d'applications utilisent cette technologie. En fait, les nouvelles technologies électroniques et informatiques d'aujourd'hui peuvent développer de petits appareils, des capteurs peuvent calculer des informations, capturer des données et utiliser ces données collectées pour communiquer via le réseau. Dans ce chapitre, nous décrivons les réseaux de capteurs sans fil et leur architecture, leurs caractéristiques, leurs domaines d'application, leurs contraintes de conception et les types de communication utilisés.

### 2. Définition d'un capteur :

Un capteur sans fil est un petit appareil électronique qui peut mesurer des valeurs physiques de l'environnement (température, lumière, pression, humidité, vibrations, etc.) et les transmettre au centre de contrôle via la station de base. Chaque capteur remplit trois fonctions de base principales, à savoir : la collecte de données, le traitement de ces données et leur communication avec la station de base [1].

### 3. Architecture d'un capteur sans fil :

Le capteur est composé de quatre éléments ou modules de base, qui sont : l'unité de détection, l'unité de traitement, l'unité de transmission (unité émetteur-récepteur) et l'unité de commande, l'alimentation électrique (unité d'alimentation) [2].

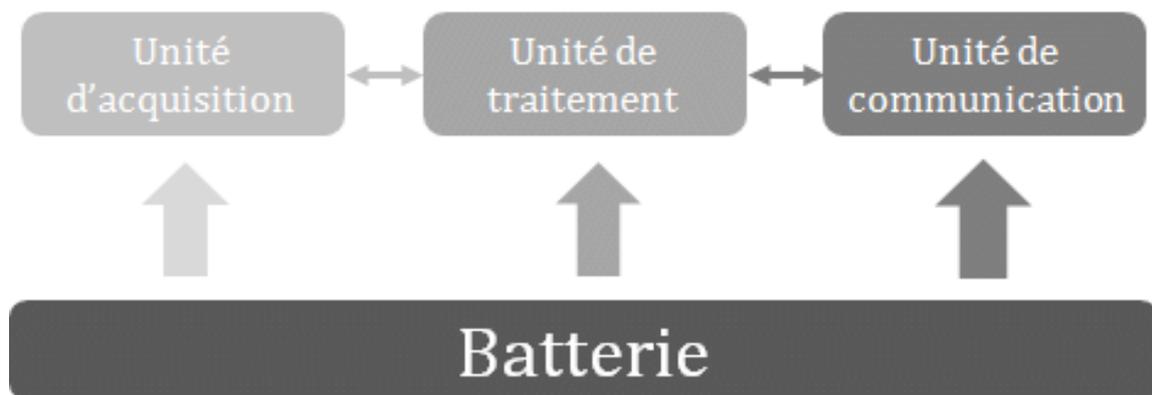


Figure I. 1: Architecture d'un capteur sans fil

#### 4. Les composants d'un capteur sans fil :

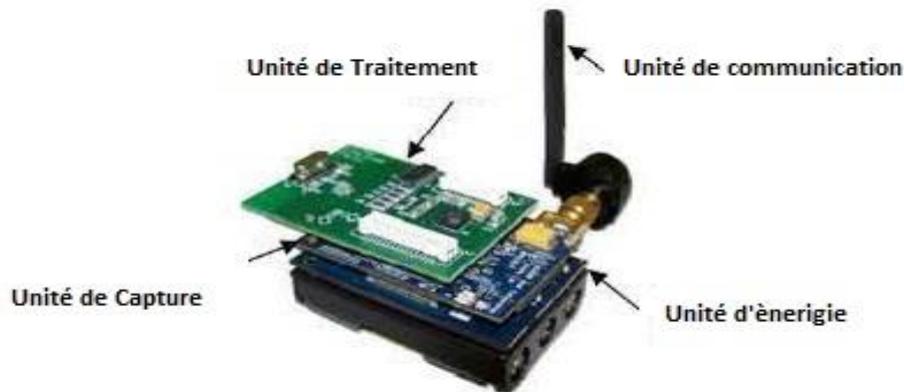


Figure I. 2: Les composants d'un capteur sans fil

#### 5. Classification des capteurs :

Les capteurs ont plusieurs modes de classification :

##### 5.1. Capteurs passifs :

Ils ne nécessitent aucun apport d'énergie externe pour fonctionner (par exemple : thermistance, potentiomètre, thermomètre à mercure, etc.). Ce sont des capteurs qui peuvent être modélisés par impédance. Des changements dans les phénomènes physiques étudiés (mesurés) produiront des changements d'impédance [3].

##### 5.2. Capteurs actifs :

Ils sont constitués d'un ou d'un groupe de capteurs actifs (par exemple : chronomètre mécanique, extensomètre aussi appelé jauge de contrainte, gyroscope, etc.). Ces capteurs peuvent être modélisés par des générateurs, tels que des systèmes photovoltaïques et électromagnétiques. Par conséquent, ils génèrent du courant ou de la tension en fonction de l'intensité du phénomène physique mesuré.

Les Composants d'un capteur sans fil :

Un capteur sans fil est composé de 4 unités de base :

##### 5.3. Unité d'acquisition :

Le capteur est composé de deux sous-unités [4] :

Le récepteur (reconnaissant l'analyste) qui permet d'obtenir les mesures sur le phénomène observé.

Le transducteur qui permet de convertir le signal du récepteur en signal électrique (signal analogique).

Le convertisseur Analogique-Numérique (CAN, en anglais ADC) transforme le signal analogique en signal numérique et le transmet à l'unité de traitement.

#### **5.4. Unité de traitement :**

Il se compose d'un processeur prenant en charge un système d'exploitation spécifique (TinyOS, par exemple) et d'une mémoire pour stocker les données. Il récupère les informations de l'unité d'acquisition et les transmet à l'unité d'expédition. Son rôle est de contrôler le bon fonctionnement des autres unités. Cette unité est également chargée de mettre en œuvre des protocoles de communication permettant au capteur de coopérer avec d'autres capteurs.

#### **5.5. Unité de communication :**

Equipé d'une radio et d'une antenne. Il est responsable de toutes les transmissions et réceptions de données sur un support de communication sans fil.

#### **5.6. Unité d'énergie :**

La batterie est chargée d'alimenter les différentes unités. L'alimentation électrique dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable, c'est pourquoi cette unité permet de réduire les dépenses en mettant en veille les composants inactifs et en utilisant d'autres ressources énergétiques pour recharger les batteries comme les cellules solaires. Souvent, dans des environnements hostiles, il est impossible de recharger ou de changer la batterie. Dans ce cas, la durée de vie du nœud peut être déterminée par la durée de vie de la batterie, ce qui nécessite de minimiser les dépenses énergétiques.

Il existe des capteurs avec d'autres composants supplémentaires tels que :

GPS (Global Positioning System).

Un militant autorisé à voyager si nécessaire.

Capteur vidéo (caméra).

### **6. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor network) :**

Les réseaux de capteurs sans fil sont un cas particulier des réseaux sans fil sans infrastructure (réseaux ad hoc), et se composent d'un grand nombre de nœuds de capteurs dispersés de manière aléatoire ou spécifiés dans une zone à surveiller, appelée zone de capture. Ces nœuds sont chargés d'observer un phénomène et de collecter des données de manière indépendante et en temps réel. Les nœuds capteurs utilisent la communication sans fil pour acheminer les données capturées avec un routage multi-sauts vers un nœud de collecte appelé nœud creux qui transmettra, via Internet ou par satellite, ces informations à l'utilisateur du réseau [5].

## 7. Caractéristiques des réseaux des capteurs sans fil :

Le réseau de capteurs présente certaines caractéristiques par rapport aux autres réseaux sans fil. Ces réseaux se caractérisent par :

### 7.1. Sans infrastructure :

RCSF appartient à la famille des réseaux sans fil sans infrastructure dédiée dite multi-vers-un. Des capteurs sont déployés de manière aléatoire dans des zones hostiles les obligeant à s'auto-configurer et à s'autoréguler sans intervention humaine [6].

### 7.2. Un grand nombre de capteurs :

Dans les RCSF, les capteurs sont généralement déployés en grand nombre pour assurer une couverture complète de la zone d'intérêt et pour faire face aux pannes car les capteurs peuvent cesser de fonctionner pour diverses raisons. Dans certains cas, nous pouvons avoir des SCRN à haute densité dont la taille dépasse un millier de capteurs voire un million de capteurs [6].

### 7.3. Interférences :

Le concept d'interférence apparaît dans la plupart des réseaux sans fil, en particulier dans les RCSF où deux appareils adjacents peuvent transmettre dans le même saut de fréquence, ce qui peut provoquer des interférences [6].

### 7.4. Topologie dynamique :

Les capteurs peuvent être connectés à des objets en mouvement qui se déplacent de manière libre et arbitraire, modifiant fréquemment la topologie du réseau. Ce type de scénario génère une topologie non statique dite dynamique [6].

### 7.5. Contrainte d'énergie, de stockage et de calcul :

L'avantage le plus important des réseaux RCSF est la limitation des ressources d'alimentation, car la plupart des capteurs ont des batteries de puissance limitée. Dans ce cas, la durée de vie du nœud peut être déterminée par la durée de vie de la batterie, ce qui nécessite une dépense énergétique réduite [6].

### 7.6. Auto organisation du réseau :

Cela peut être nécessaire dans de nombreux cas. Par exemple, un réseau avec un grand nombre de nœuds placés dans des endroits hostiles où la configuration manuelle n'est pas possible, devrait pouvoir s'organiser. Il existe un autre cas où un nœud est inséré ou retiré (en raison d'un manque d'alimentation ou d'une destruction physique), le réseau doit donc pouvoir se reconfigurer pour continuer sa fonction.

## 8. Architectures d'un réseau de capteurs sans fil :

Il existe deux types d'architectures de réseaux de capteurs : les réseaux de capteurs plats et les réseaux de capteurs hiérarchiques.

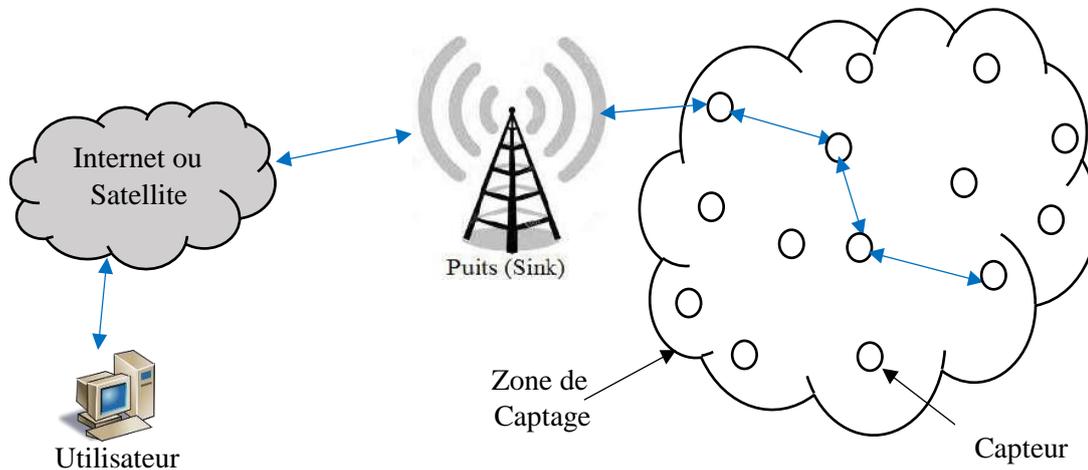


Figure I. 3: Architecture d'un réseau de capteurs sans fil

## 9. Les technologies utilisant dans les RCSF :

### 9.1.IEEE 802.11x/Wifi :

Cette technologie nécessite une grande consommation d'énergie. Par conséquent, les capteurs alimentés par batterie ont généralement une durée de vie de quelques heures seulement, c'est pourquoi les applications de capteurs basés sur des connexions sans fil WiFi sont négligées [8].

### 9.2.IEEE 802.15.1/Bluetooth :

Il utilise des communications sur de courtes distances à une vitesse de communication limitée, ce qui vise à créer et à maintenir des réseaux abordables. Mais il n'est plus utilisé dans les réseaux de capteurs automobiles, son principal inconvénient étant sa consommation électrique excessive [9].

### 9.3.IEEE 802.15.4/ Zigbee :

Il nécessite très peu de puissance pour fonctionner, ce qui favorise l'utilisation de cette norme dans le cas des réseaux de capteurs.

## 10. Les topologies utilisées dans les réseaux de capteur sans fil :

### 10.1. La topologie en étoile :

Dans cette architecture, une station de base peut envoyer ou recevoir un message à plusieurs nœuds. Ces nœuds ne peuvent envoyer ou recevoir un message que d'une seule station de base, et ils ne sont pas autorisés à échanger des messages.

L'avantage de cette structure est sa simplicité, sa faible consommation d'énergie des nœuds et sa faible latence de communication entre les nœuds et la station de base. Son inconvénient est que la station de base est vulnérable, car l'ensemble du réseau est géré par un seul nœud [10].

### 10.2. La topologie en grille (Mesh Network) :

Dans ce type d'architecture n'importe quel nœud peut échanger avec n'importe quel autre nœud du réseau (s'il est à portée de transmission) on parle de « communication multi-sauts » et aussi si un nœud veut transmettre un message à un autre nœud extérieur au réseau. Sa portée d'envoi peut utiliser un nœud intermédiaire pour envoyer son message au nœud destinataire. L'avantage de cette structure est l'évolutivité, la redondance et la tolérance aux pannes.

L'inconvénient de cette structure est la consommation d'énergie élevée causée par la connexion multi-sauts. La latence est établie en passant des messages d'un nœud à un autre avant d'atteindre la station de base [10].

Cette structure serait théoriquement préférable, car chaque nœud est relié entre eux par un lien direct. Mais en pratique, ce sera aussi le plus cher.

### 10.3. La topologie hybride :

La structure hybride entre l'architecture en étoile et en réseau fournit des connexions réseau robustes et diversifiées, garantissant une consommation électrique réduite dans les réseaux de capteurs. Dans ce type de topologie, les nœuds capteurs indépendants de l'énergie n'acheminent pas les messages, mais d'autres nœuds ont la capacité de faire le routage des messages. En général, ces nœuds ont une source d'énergie externe [10].

## 11. Contraintes de conception des RCSF :

Les principaux facteurs et contraintes affectant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit :

### 11.1. La tolérance de fautes :

Certains nœuds peuvent générer des erreurs ou cesser de fonctionner en raison d'un manque de puissance, d'un problème physique ou d'interférences. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau, c'est le principe de la tolérance aux pannes. La tolérance aux pannes est la capacité

à maintenir la fonctionnalité du réseau sans interruption en raison d'un défaut dans un ou plusieurs capteurs [12].

### **11.2. L'échelle :**

Le nombre de nœuds publiés pour un projet peut atteindre un million. Un si grand nombre de nœuds génère beaucoup de transferts entre nœuds et nécessite que le « puits » soit bien équipé d'une grande quantité de mémoire pour stocker les informations reçues [12].

### **11.3. Les coûts de production :**

Les réseaux de capteurs sont souvent constitués d'un très grand nombre de nœuds. Le prix du nœud est essentiel pour concurrencer le réseau de surveillance traditionnel. Un nœud ne coûte actuellement pas plus de 1 \$. En comparaison, un contrat Bluetooth, qui est déjà connu pour être un système à faible coût, coûte environ 10 \$ [12].

### **11.4. L'environnement :**

Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que les champs de bataille en dehors des lignes ennemies, à l'intérieur de grosses machines, au fond des océans, dans des champs pollués biologiquement ou chimiquement... Ainsi, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des zones géographiques éloignées [12].

### **11.5. La topologie de réseau :**

Le déploiement d'un grand nombre de nœuds nécessite une maintenance de la structure. Cette maintenance comprend trois étapes : déploiement, post déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne fonctionnent plus...), redéploiement de nœuds supplémentaires [12].

### **11.6. Contraintes matérielles :**

La principale contrainte matérielle est la taille du capteur. Les autres contraintes sont que la consommation d'énergie doit être moindre pour que le réseau survive le plus longtemps possible, qu'il s'adapte aux différents environnements (fortes chaleurs, eau...), qu'il soit autonome et très résistant vu qu'il est souvent déployé dans des environnements hostiles [12].

### **11.7. Les médias de transmission :**

Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont reliés par une architecture sans-fil. Pour permettre des opérations sur ces réseaux dans le monde entier, le média de transmission doit être normé. On utilise le plus souvent l'infrarouge (qui est License free, robuste aux interférences, et peu onéreux), le Bluetooth et les communications radio Zigbee [12].

#### **La consommation d'énergie :**

Le capteur, de par sa taille, est limité en puissance (<1.2V). Dans la plupart des cas, la batterie ne peut pas être remplacée. Cela signifie que la durée de vie du capteur dépend

fortement de la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs (multi-hop), chaque nœud collecte des données et transmet/transmet des valeurs. La défaillance de certains nœuds nécessite une modification de la topologie du réseau et du routage des paquets. Tous ces procédés sont énergivores, c'est pourquoi les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation [12].

## **12. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous présentons des généralités sur les réseaux de capteurs sans fil, nous donnons des définitions et des explications des capteurs, puis nous introduisons les réseaux de capteurs sans fil et ses caractéristiques qui sont un domaine très utile et une technologie moderne en plein développement et omniprésent.

Les réseaux de capteurs sans fil sont répandus dans de nombreux domaines d'application. Ils sont devenus indispensables pour les mesures de température, d'humidité et de vibration.

# Chapitre 02

## Chapitre II : Le Routage Dans Les Réseaux De Capteurs Sans Fil

### 1. Introduction :

Les protocoles de routage pour les réseaux de capteurs sans fil ont été largement étudiés et diverses études ont été publiées. Ces protocoles doivent garantir que les informations circulent entre n'importe quel nœud du réseau et la station de base à un moindre coût énergétique. Dans les réseaux de capteurs, chaque nœud joue le rôle de source et de relais. En conséquence, une panne de courant du capteur peut changer radicalement la topologie du réseau, de sorte que les coûts énergétiques doivent être réduits au minimum, car la puissance est une limitation majeure dans les réseaux de capteurs.

L'objectif de ce chapitre est de présenter quelques-unes des méthodes et techniques sous-jacentes aux protocoles de routage dans les réseaux de capteurs, et on fait une comparaison entre ces protocoles.

### 2. Définition du routage :

Le routage est un processus qui permet de sélectionner des chemins dans un réseau pour transmettre des données depuis un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. On distingue généralement deux entités : L'algorithme de routage et le protocole de routage. Dans les réseaux de capteurs, les caractéristiques comme la densité importante des nœuds, leurs autonomies énergétiques limitées et la topologie qu'ils forment, exigent des protocoles de routage spécifiques, différents de ceux déployés dans les réseaux usuels. De ce fait, le développement de nouveaux protocoles de routage s'avère indispensable. Ces protocoles doivent tenir compte de l'aspect fonctionnel de ces réseaux tout en optimisant les calculs nécessaires pour choisir la route la plus optimale [11].

### 3. Routage dans les réseaux de capteurs sans fil :

La fonction la plus importante du réseau est la propagation et la livraison des données dans RCSF. Vous devez prendre en compte toutes les caractéristiques des capteurs afin d'assurer les meilleures performances du système : durée de vie, fiabilité, temps de réponse, etc.

Le problème de routage consiste à déterminer le routage optimal des paquets sur le réseau au sens d'un critère de performance donné. Le problème est de trouver un investissement à moindre coût dans la capacité nominale et la réserve qui assure l'acheminement du trafic nominal et assure sa survie en cas de défaillance d'un nœud ou d'un nœud. Le problème qui se pose dans le cadre des réseaux ad hoc est l'adaptation de la méthode de routage utilisée au grand nombre d'unités présentes dans un environnement caractérisé par des capacités de calcul et de

sauvegarde modestes et des évolutions rapides des structures. Il semble donc important que toute conception de protocole de routage prenne en compte les problématiques suivantes :

1. Réduire la charge du réseau
2. Prise en charge pour permettre des connexions multipoints fiables
3. Assurer un routage optimal
4. Fournir une bonne qualité en ce qui concerne la latence [13].

#### **4. Les critères de conception d'un protocole de routage dans les RCSFs :**

Dans cette section, nous présentons un certain nombre de considérations nécessaires pour concevoir un protocole de routage pour les RCSF. Étant donné que les réseaux de capteurs imposent des fonctions spécifiques et des limitations de ressources, leur efficacité et leur utilité dépendent largement de la qualité de leurs protocoles. Afin de concevoir un protocole de routage efficace, les facteurs détaillés ci-dessous [14] doivent être pris en compte. Cependant, la consommation d'énergie, la tolérance aux pannes, l'évolutivité et la capacité de connectivité, qui ont déjà été abordées au chapitre 1, seront abordées ici du point de vue du routage.

##### **4.1. Déploiement des nœuds :**

Le déploiement du contrat est une considération importante. Les réseaux de capteurs peuvent être installés de manière déterministe ou auto-organisée. Une fois que le déploiement du réseau est impératif, les nœuds sont placés manuellement de manière prédéterminée. Le routage peut suivre des chemins prédéfinis, mais ce n'est pas toujours le cas. Lorsque la propagation du réseau s'auto-organise, les nœuds sont dispersés aléatoirement dans la région du phénomène à surveiller. Un autre aspect de la propagation des nœuds est la nature des nœuds récepteurs ainsi que des en-têtes de bloc (CHs) [14].

##### **4.2. Consommation d'énergie :**

Les nœuds de capteurs peuvent utiliser leur propre source d'alimentation pour calculer et transmettre des informations dans un environnement sans fil. Pour cela, les techniques de conservation de l'énergie lors de la communication et de l'informatique sont essentielles. En fait, la durée de vie du capteur dépend fortement de la durée de vie de la batterie [15]. Dans un réseau de capteurs multi-sauts, chaque nœud joue le double rôle d'émetteur et de routeur de données. Le dysfonctionnement de quelques nœuds de capteurs en raison d'une défaillance (due à la chute de puissance totale) peut entraîner des changements topologiques critiques et peut également nécessiter la transmission de paquets [16].

#### 4.3. Modèle de délivrance des données :

Le modèle de renvoi des données captées constitue un autre facteur important qui affecte les performances du protocole de routage utilisé. Le modèle de délivrance des données peut être classé dans l'une de ces catégories : continu (time-driven), évènementiel (event-driven), orienté requête (query-driven) et hybride [17].

Le modèle de la livraison continu convient aux applications qui nécessitent des données capturées périodiquement. Dans les modèles évènementiels et orientés requête, les nœuds capteurs réagissent immédiatement et soudainement lors d'un changement rigoureux de valeur d'un attribut senti dû à l'occurrence de certains évènements ou requêtes produites par la BS. Ces modèles sont bien appropriés aux applications critiques du temps. Une combinaison des modèles précédents est également possible. Le protocole de routage est fortement influencé par les modèles de données rapportées concernant la consommation d'énergie et la stabilité de route [16].

#### 4.4. Hétérogénéité Nœud/Lien :

Plusieurs études ont supposé que le réseau de capteurs se compose de nœuds monolithiques avec les mêmes capacités en termes de calcul, de transmission et de puissance disponible. Cependant, selon l'application, le nœud de capteur peut avoir des rôles différents. La présence d'un ensemble de capteurs hétérogènes soulève de nombreuses questions techniques concernant le routage des données. Par exemple, certaines applications peuvent nécessiter une combinaison de divers capteurs pour surveiller la température, la pression et l'humidité de l'environnement, détecter les mouvements via des signatures audio et capturer l'image ou le chemin visuel des objets.

Ces capteurs spéciaux peuvent être déployés indépendamment car ils peuvent inclure différentes fonctions. Ces capteurs peuvent même produire et fournir des données à différents débits. Par exemple, les protocoles hiérarchiques font référence à des nœuds CHs qui sont différents des nœuds de capteurs normaux. Ces CHs peuvent être plus puissants que les autres nœuds de capteurs en termes de puissance, de bande passante et de mémoire. Ainsi, ces CHs sont chargés d'envoyer des données à la station de base [16].

#### 4.5. Tolérance aux pannes :

Certains nœuds de capteurs peuvent mal fonctionner ou être obstrués en raison d'un manque d'alimentation, de dommages physiques ou d'interférences environnementales. La défaillance des nœuds de capteurs ne devrait pas affecter la mission globale du réseau de capteurs. Si plusieurs nœuds sont en panne, les protocoles de routage doivent s'adapter pour former de nouveaux liens et acheminer les données collectées vers la BS. Cela peut nécessiter l'activation

de la modulation de puissance et de transmission sur les liaisons existantes pour réduire la consommation d'énergie, ou le transfert de paquets à travers des zones du réseau où davantage de puissance sera disponible [18].

#### **4.6. Scalabilité :**

Le nombre de nœuds de capteurs déployés dans la zone de capture peut être de l'ordre de centaines, de milliers ou plus. Tout schéma de routage devrait pouvoir fonctionner avec ce grand nombre de nœuds de capteurs. De plus, les protocoles de routage dans le réseau de capteurs doivent être suffisamment évolutifs pour répondre aux événements de l'environnement.

Jusqu'à l'événement, la plupart des capteurs peuvent rester dans un état de veille avec seulement quelques capteurs restants fournissant des données de qualité brutes [16].

#### **4.7. Dynamicité du réseau :**

Un réseau de capteurs se compose de cinq composants principaux. Sans l'un d'entre eux, les RCSFs ne fonctionnent pas, ou ils sont inutiles. Ces composants sont [19] :

1. Les nœuds capteurs qui sont des dispositifs pour recueillir et transmettre les données.
2. Le destinataire (ou observateur) qui est intéressé par l'information diffusée par les nœuds capteurs.
3. Le phénomène que les nœuds capteurs ont été déployés pour le surveiller.
4. L'infrastructure qui est la manière avec laquelle les nœuds capteurs sont actuellement déployés et reliés entre eux.
5. La pile protocolaire qui est responsable du routage et du transfert des données collectées en dehors du réseau.

Le rôle d'un RCSF est de créer un chemin en utilisant le protocole de routage et l'infrastructure existante entre un phénomène surveillé par un nœud capteur et un destinataire. Selon la mobilité des trois premiers composants du réseau (capteur, destinataire, phénomène) les réseaux de capteurs peuvent être classifiés comme dynamiques ou statiques. Dans les réseaux de capteurs statiques, les composants demeurent stationnaires. C'est habituellement le cas dans la plupart des réseaux de capteurs, par exemple un réseau de capteurs pour surveiller la température ou l'humidité d'une salle ou bien d'une région. Dans les réseaux de capteurs dynamiques, au moins l'un des composants est mobile.

#### **4.8. Media de transmission :**

Dans un réseau de capteurs multi-sauts, les nœuds communicants sont liés par des liens sans fil. Les problèmes classiques liés au canal sans fil (par exemple : effacement, taux d'erreur élevé, etc.) peuvent également affecter le fonctionnement du réseau de capteurs. En général, la

largeur de bande passante requise pour la transmission des données est basse, de l'ordre de 1-100kb/s. Les médias de transmission sont liés à la conception de la couche MAC. Une approche de conception de la couche MAC pour des réseaux de capteurs consiste à utiliser les protocoles basés sur TDMA qui conservent plus d'énergie par rapport aux protocoles basés sur la contention comme CSMA par exemple, IEEE 802.11 [20].

#### **4.9. Connectivité :**

La densité élevée des nœuds dans les réseaux de capteurs exclut complètement l'isolement entre eux. Par conséquent, on s'attend à ce que des nœuds capteurs soient fortement reliés. Ceci, peut ne pas empêcher la topologie du réseau d'être variable et la taille du réseau d'être craintive aux échecs des nœuds capteurs. En outre, la connectivité dépend probablement de la distribution aléatoire des nœuds [16].

#### **4.10. Couverture :**

Dans les réseaux de capteurs, chaque nœud capteur obtient une certaine vue de l'environnement. La vue de l'environnement d'un capteur donné est limitée dans la portée et dans l'exactitude, elle peut seulement couvrir un domaine physique limité de l'environnement. Par conséquent, la couverture d'une région est également un paramètre important dans la conception d'un protocole de routage pour les réseaux de capteurs [16].

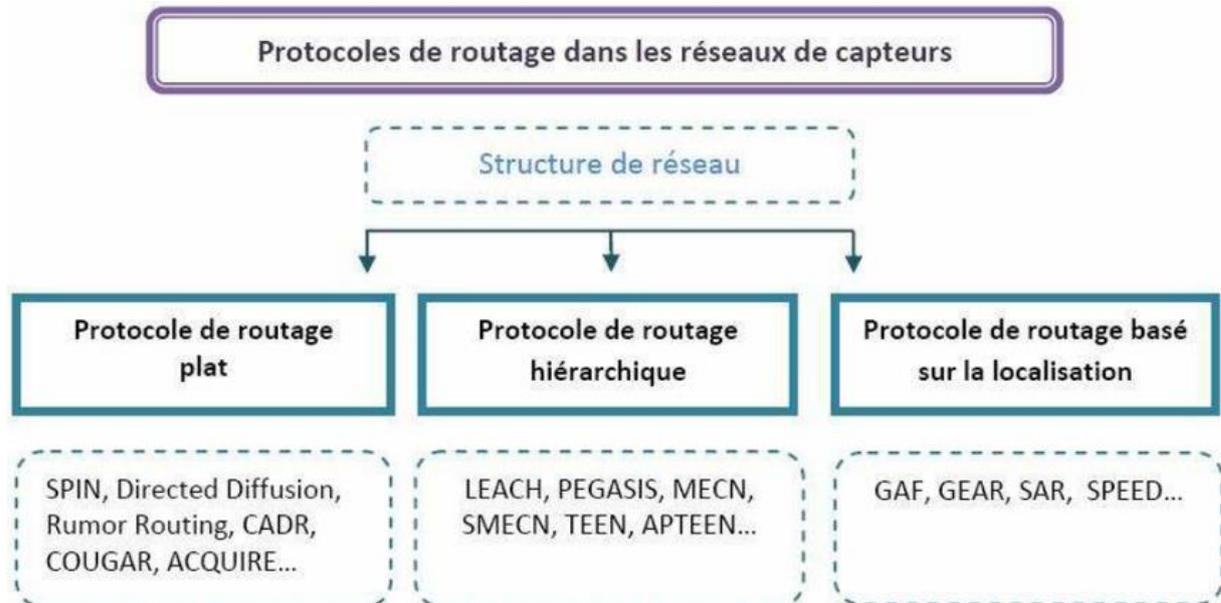
#### **4.11. Agrégation des données :**

Puisque les nœuds capteurs peuvent produire des données significatives et superflues, les paquets semblables des différents nœuds peuvent être agrégés de sorte que le nombre de transmissions soit réduit. L'agrégation de données est la combinaison des données de différentes sources selon une certaine fonction d'agrégation : suppression, minimum, maximum et moyenne, etc. Cette technique a été employée pour optimiser la consommation d'énergie lors de transfert des données dans un certain nombre de protocoles de routage. Des méthodes de traitement des signaux peuvent également être employées pour l'agrégation des données. Dans ce cas, elle est désignée sous le nom de la fusion de données où un nœud est capable de produire un signal de sortie en employant certaines techniques, telles que beamforming pour combiner les signaux entrants et réduire le bruit dans ces signaux [16].

#### **4.12. Qualité de service :**

Dans quelques applications, les données devraient être fournies au cours de certaine période du moment où elles sont captées, sinon ils sont inutiles, et par conséquent, la latence définie pour la livraison des données est une autre condition pour les applications qui sont soumises sous des contraintes du temps. Cependant, dans plusieurs applications, la conservation d'énergie, qui est directement liée à la durée de vie du réseau est considérée relativement plus

importante que la qualité des données envoyées. Pendant que l'énergie s'épuise, le réseau exige de réduire la qualité des résultats afin de réduire la diminution d'énergie dans les nœuds, et par conséquent augmenter la durée de vie du réseau [16].



**Figure II. 1:** Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil

#### 4.13. Capacité de communication :

Les nœuds dans un réseau de capteurs ne sont pas nécessairement identiques. Ils peuvent être équipés de différents capteurs, et avoir des caractéristiques différentes. Ces particularités doivent être prises en considération pendant la conception d'un protocole de routage [21].

## 5. Classification des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil :

Récemment, les protocoles de routage pour les RCSFs ont été largement étudiés. Les approches proposées présentent des points communs et donc peuvent être classifiées suivant un certain nombre de critères. La figure 2.1 ci-dessous résume une classification qui se base sur quatre critères : la structure du réseau, les fonctions des protocoles, l'établissement de la route et l'initiateur de communication [22].

### 5.1. Classification selon la structure du réseau :

La topologie détermine l'organisation logique adaptée par les protocoles de routage afin d'exécuter les différentes opérations de découverte de routes et de transmission de données. Elle joue un rôle significatif dans le fonctionnement d'un protocole. Les protocoles de cette classe peuvent être classifiés en trois catégories : protocole à plat, protocole hiérarchique et protocole basé sur la localisation géographique [23].

- **Protocole plats** : Appelé également routage centré données (data centric) où tous les nœuds ont les mêmes tâches à accomplir. C'est la première approche utilisée dans l'acheminement des données dans les RCSF. Elle se base sur la collaboration de tous les nœuds du réseau [23].

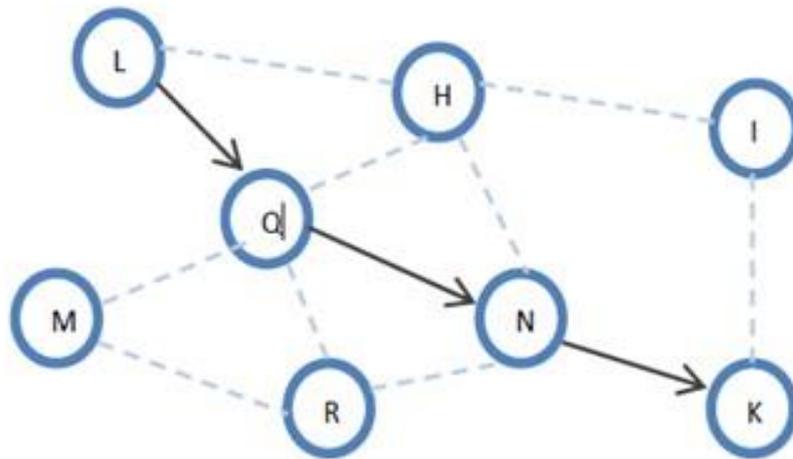


Figure II. 2: protocole plat

**Protocole hiérarchique** : Une des méthodes les plus utilisées dans cette topologie est le clustering. Il consiste en un partitionnement du réseau en groupes appelés clusters. Un cluster est constitué d'un chef (clusterhead) et de ses membres. Suivant l'application, les membres peuvent être des voisins directs du chef ou pas. Cette topologie présente beaucoup d'avantage, tel que l'agrégation des données collectées ainsi qu'une grande scalabilité [23].

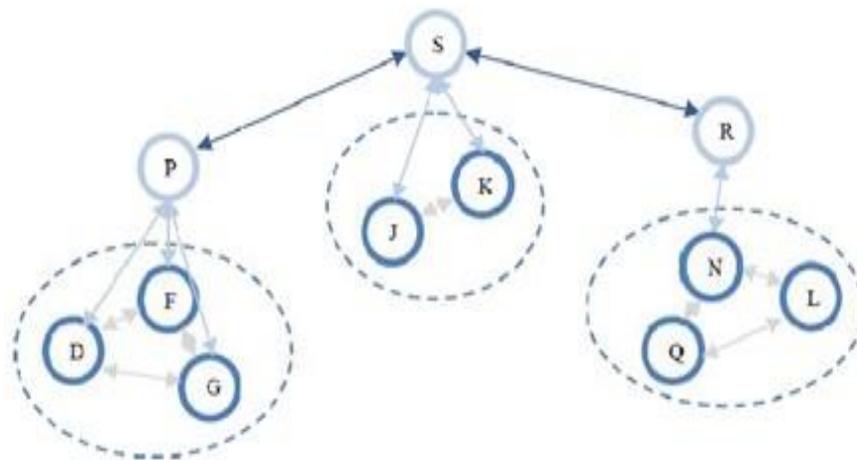


Figure II. 3: Protocole hiérarchique

### 5.2. Classification selon les fonctions des protocoles

Le mode de fonctionnement définit la manière avec laquelle les données sont propagées dans le réseau. Selon ce critère, les réseaux de capteurs sans fils peuvent être regroupés en quatre catégories :

- Routage multi-chemins (Multipath).
- Routage basé sur les requêtes.
- Routage basé sur la négociation (Négociation based routing).
- Routage basé sur la Qualité de service 'QoS' (Quality of service 'QoS' based routing) [26].

### 5.3. Classification selon l'établissement de la route

- **Protocole proactif** : Ces protocoles de routage tentent de maintenir le meilleur chemin existant vers toutes les destinations possibles sur chaque nœud du réseau. Même si l'itinéraire n'est pas utilisé, il sera enregistré. Indépendamment de l'utilité du routage, chaque nœud du réseau maintient une table de routage pour toutes les destinations. Les protocoles proactifs conviennent aux applications qui doivent collecter des données de manière régulière. Par conséquent, les capteurs peuvent se mettre en veille pendant les périodes d'inactivité, et leurs dispositifs de capture ne le sont qu'à certains moments [27].
- **Protocole réactif** : Également appelé routage à la demande, le routage réactif permet de créer des routes en fonction des besoins de l'application. Lorsqu'une requête est diffusée sur le réseau, le processus de découverte de route est initié par le nœud associé à la requête, et la réponse est routée sur la route créée. Pour chaque événement d'intérêt détecté, ce processus est également lancé pour l'application événementielle (application événementielle). L'avantage du routage à la demande est qu'il est plus économe en énergie que le routage actif. La recherche de routes entraîne des retards dans le flux de données, ce qui ne convient pas aux applications interactives et en temps réel [27].
- **Protocole hybride** : Ces protocoles combinent les deux idées de protocoles actifs et passifs. Ils utilisent des protocoles proactifs pour se renseigner sur les voisins (par exemple, les quartiers à deux ou trois sauts), de sorte qu'ils ont immédiatement des itinéraires dans le quartier. En dehors de la zone voisine, le protocole hybride utilise un protocole réactif pour rechercher des routes [27].

#### 5.4. Classification selon l'initiateur de communication

Le paradigme de communication est déterminé par les contraintes sous lesquelles les nœuds du réseau sont interrogés. Dans les RCSF, il peut être classé comme étant centré-nœuds, centré-données et basés-localisation [28].

- **Protocole Centré-nœuds** : Ce modèle est utilisé dans les réseaux conventionnels où il est important de connaître les nœuds communicants. Cependant, ce paradigme ne reflète pas la vision des RCSF quant à leurs applications où la donnée transmise est plus importante que l'émetteur. Néanmoins, le paradigme centré-nœuds n'est pas totalement écarté, car certaines applications nécessitent une interrogation individuelle des nœuds [28].
- **Protocole Centré-données** : Ce modèle est utilisé dans les réseaux où il n'existe pas un système d'identification global, toutes les communications sont identifiées par leurs données l'interrogation et le routage doivent être réalisé en se basant sur cette propriété. Le réseau peut être vu comme une base de données distribuée où les nœuds forment des tables virtuelles alimentées par les données captées. Le protocole Directe Diffusion est considéré comme l'un des protocoles de référence dans le routage centré-données [28].
- Ce paradigme est utilisé dans les applications où il est plus intéressant d'interroger le système en se basant 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 destination le nœud source utilise un mécanisme pour déterminer sa localisation. Il est donc nécessaire de se pencher sur une solution de localisation géographique dont le degré de précision dépend de l'application visée [28]. Il existe deux techniques de localisation : absolue où on peut utiliser un système GPS (Global Positioning System) ou, relative où les nœuds sont localisés approximativement suivant la direction ou la durée lors d'une transmission [29].

### 6. Les critères de performance des protocoles de routage RCSF :

La performance des réseaux de capteurs sans-fil est fondée sur les facteurs [31] :

- **Facteur d'échelle** : Le nombre de nœuds déployés pour une application peut atteindre des milliers. Dans ce cas, le réseau doit fonctionner avec des densités de capteurs très grandes.
- Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter-cluster et nécessite que la station de base soit équipée de mémoire suffisante pour stocker les informations reçues

- **L'énergie** : chaque nœud utilise peu d'énergie pour des activités telles que la détection, le traitement, le stockage et la transmission. Un nœud dans le réseau doit savoir combien d'énergie sera utilisée pour effectuer une nouvelle tâche à laquelle il est soumis. L'énergie consommée peut varier selon le type de fonctionnalité ou l'activité qu'il a à accomplir.
- **Le temps de traitement** : il se réfère au temps pris par le nœud dans le réseau pour assurer l'ensemble de l'opération commençant par la détection, le traitement des données ou le stockage de données, la transmission ou la réception.
- **Le schéma de transmission** : la transmission de données par les nœuds de capteurs vers la destination ou la station de base se fait par un schéma de routage à un seul saut ou à multi saut.
- **La capacité du réseau** : tous les nœuds du réseau de capteurs utilisent certaines ressources du réseau qui les aident à accomplir certaines activités comme la détection ou la transformation.
- **Synchronisation** : dans les communications radio entre les nœuds de capteurs d'un WSN, les capteurs écoutent en permanence les transmissions et consomment de l'énergie s'ils n'ont pas synchronisé les uns les autres. Pour cela, un nœud doit avoir la même notion de temps pour se mettre en veille et se réveiller que ses voisins.
- **Paquets de Contrôle** : un paquet envoyé avant la transmission entre deux nœuds est appelé le paquet de contrôle. Le paquet de contrôle contient le nombre de bits de données envoyés, l'adresse du nœud de destination et certaines informations qui contribuent à éviter les collisions pendant la transmission.

## 7. Facteurs de conception de protocoles de routage :

### Tolérance aux pannes :

La propriété de tolérance aux pannes est définie par l'aptitude du protocole de routage à maintenir ses fonctionnalités, en cas de panne de quelques nœuds. Le but de la tolérance aux pannes est d'éviter la faille totale du système malgré la présence de fautes dans un sous ensemble de ses composants élémentaires. [32].

### Consommation d'énergie :

Il est à noter que l'efficacité en consommation d'énergie représente un facteur de performance significatif. C'est pourquoi les concepteurs peuvent au moment du développement des protocoles, négliger les autres facteurs au détriment de cette contrainte. L'utilisation des protocoles basés sur les techniques de conservation d'énergie lors de la communication et le calcul est essentiel [32].

### Limitations de capacités des nœuds :

Les nœuds ont des capacités de calcul, de stockage et de communication limitées. Les Concepteurs de protocoles de routage doivent englober des opérations simples et peu exigeantes en capacité de calcul et de stockage.

**Scalabilité :**

Les applications des RCSFs nécessitent en général un déploiement dense des nœuds. Les protocoles de routage doivent donc être très scalables [32].

**Connectivité :**

Le grand nombre de nœuds dans le RCSF signifie qu'ils sont généralement dispersés de manière aléatoire et ne sont pas uniformément répartis sur le champ de puits [32].

**Hétérogénéité :**

Dans les RCSFs, les nœuds peuvent avoir des rôles différents. Ainsi, selon la tâche assignée au capteur, les besoins en ressources de calcul, de stockage, de communication et d'alimentation peuvent différer d'un nœud à l'autre. Pour répondre à ce problème, une des solutions envisagées par certaines applications est d'intégrer des nœuds privés plus puissants que d'autres qui seront chargés d'effectuer des tâches plus coûteuses en ressources énergétiques [33].

**Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous présentons les principaux protocoles de routage dans les réseaux de capteurs. Ces réseaux sont divisés en quatre catégories principales sont : les protocoles hiérarchiques, les protocoles non hiérarchiques, les protocoles basés sur la localisation et les protocoles centrés sur les données. Nous présentons les critères de performance des protocoles de routage et les Facteurs de conception de protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil RCSF.

Dans le quatrième chapitre, nous allons présenter les protocoles de routage AODV et DSR ainsi que les résultats de simulation.

# Chapitre 03

## Chapitre III : La Présentation Des Deux Protocoles

### 1. Introduction :

Créer dynamiquement une connexion multi-sauts entre un groupe de nœuds sans fil qui peuvent être en mouvement, pour fournir une connexion plus complète au sein d'un réseau mobile auto-organisé, tel que des réseaux de réseau sans fil. Pour trouver ces chemins « multi-sauts » est un véritable défi face aux interférences et aux limitations de puissance il faut un protocole de routage.

Le routage est une méthode d'acheminement des informations vers la destination correcte via un réseau donné, comme nous l'avons vu précédemment. Il est nécessaire d'utiliser l'un des protocoles de routage qui acheminera correctement le paquet avec le meilleur chemin, pour envoyer un paquet de données d'une source vers une destination,.

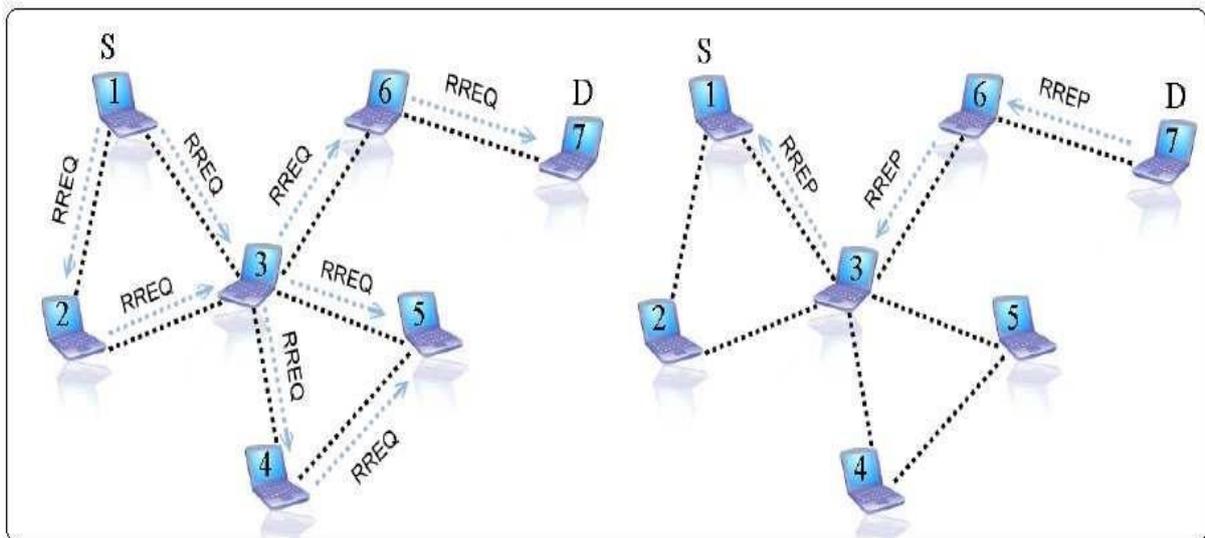
Ces différents protocoles sont en fait différents moyens adaptés à l'état de la structure dynamique, et sont capables de mettre en œuvre une "répartition des chemins" en réduisant les sauts (chemin optimal), en évitant les boucles (très néfastes car provoquant des pertes de paquets au sein du réseau) et en réduisant " Overhead" (données supplémentaires liées au contrôle de la transmission et au débogage).

### 2. Etude des protocoles de routage :

#### 2.1. Le protocole de routage AODV :

Le protocole AODV (Distance On Demand Vector) [100] est essentiellement une amélioration de l'algorithme DSDV dans un contexte interactif. Il est spécialement conçu pour les réseaux mobiles afin d'établir et de découvrir des liens entre la source et la destination [72, 73]. Il est utilisé pour router l'unicast et le multicast à l'aide de requêtes de type (track request / route reply).

Avec AODV, chaque nœud a une table de routage qui donne des informations sur ses voisins, et la table joue un rôle dans le choix du voisin qui transmettra les paquets de la source à la destination. Lorsqu'une source a des données à envoyer à une destination, elle diffuse une demande de routage (RREQ). Lorsqu'un nœud reçoit un RREQ, il met à jour ses informations pour le nœud source et ajoute une nouvelle route valide à sa table de routage pour accéder à la source qui a envoyé le RREQ. Lorsque le RREQ atteint la destination, il génère une réponse de type de réponse de chemin (RREP). Le RREP est renvoyé à la source comme le montre la figure 1. Chaque nœud a un numéro de série qui permet la sélection du chemin le plus récent et la cohérence des informations de routage à préserver [34].



**Figure III. 1:** Fonctionnement du protocole AODV

Avec AODV, s'il y a plusieurs chemins possibles de la source à la destination, alors AODV choisit le chemin le plus court (celui avec un déplacement minimal). Si le cycle de routage échoue, la source redémarre un nouveau RREQ avec un temps T plus long. Si plus d'une série de demandes de routage échouent, aucune route ne peut être trouvée [41,42].

### 2.1.1. Table de routage :

Utilise une table de routage avec les entrées suivantes :

- L'adresse IP de destination.
- Le numéro de séquence de la destination.
- Indicateur de validité du numéro de la séquence.
- Autres indicateurs de la route (valide, invalide, réparable, en réparation).
- Interface réseau.
- Compteur de hops.
- Prochain nœud.
- Liste des précurseurs.
- La durée de vie de la route (avant son expiration et son annulation) [43].

La mise à jour s'effectue par l'échange de trois types de messages :

- RREQ Route Request, un message de demande de route.
- RREP Route Reply, un message de réponse à un RREQ.
- RERR Route Error, un message qui signale la perte d'une route.

**Format général d'une RREQ :**

|         |                |              |              |                          |                 |
|---------|----------------|--------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| @source | Num.seq.Source | Broadcast ID | @Destination | Num. Seq.<br>Destination | Nombre de sauts |
|---------|----------------|--------------|--------------|--------------------------|-----------------|

**Tableau III. 1:** Format général d'une route request [44].**Format général d'une RREP :**

|         |             |                         |                 |           |
|---------|-------------|-------------------------|-----------------|-----------|
| @source | Destination | Num.seq.<br>Destination | Nombre de sauts | Life Time |
|---------|-------------|-------------------------|-----------------|-----------|

**Tableau III. 2:** Format général d'une route réponse [44].**2.1.2. Gestion des numéros de séquence :**

Les protocoles à vecteur de distance sont généralement soumis au problème des boucles de routage et du comptage infini de l'algorithme de Bellman-Ford qu'ils utilisent, qui est un algorithme qui trouve le chemin le plus court entre deux nœuds, et cela peut provoquer le phénomène de boucles dans lesquelles les nœuds sont inaccessibles. Définir des distances de plus en plus grandes.

Dans le cas de l'AODV, ces problèmes sont résolus en utilisant des numéros de séquence pour les messages de contrôle [39]. Les numéros de séquence sont un moyen simple et efficace d'éviter le problème des boucles infinies et la transmission inutile de messages sur le réseau. Il permet l'utilisation des dernières méthodes ou en d'autres termes les dernières méthodes. Chaque nœud du réseau possède un numéro de série qui se charge de le tenir à jour en l'incrémentant dans deux cas :

Avant de procéder au processus de découverte de chemin, ce qui permet d'éviter les conflits avec les chemins précédemment créés par ce même nœud. Avant que le RREP ne soit envoyé par le destinataire, ce qui permet de mettre à jour les informations de routage pour les nœuds que le paquet a traversés. Chaque nœud conserve également un numéro de série dans sa table de routage pour chaque destinataire de route actif. Ce numéro de série est mis à jour dans deux cas :

Quand une route se termine ou une pause. Le nœud peut alors incrémenter le numéro de séquence du destinataire et révoquer le chemin vers la métaphore des autres nœuds. Lorsqu'un message avec un numéro de séquence plus élevé est reçu pour le même destinataire, le paquet contient alors des informations de chemin plus récentes [44].

**La Découverte de route :**

Le processus de découverte de la route dans le cas d'AODV consiste à construire des routes par l'emploi d'un cycle de requêtes « route request / route reply ».

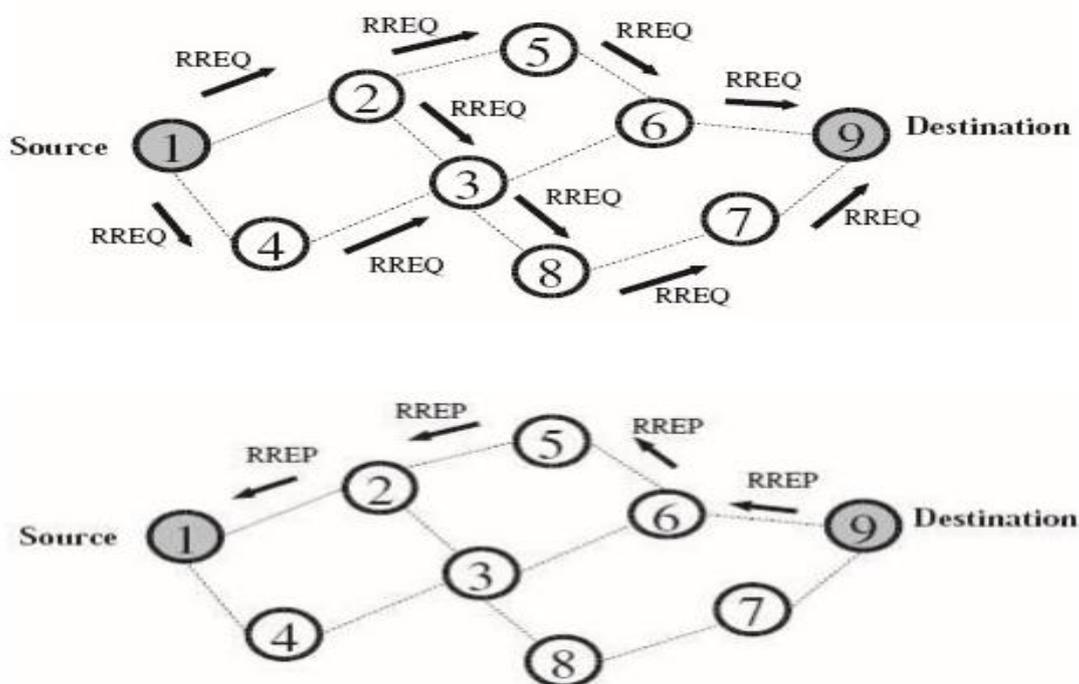
Un nœud diffuse une requête de route (RREQ : Route Request), dans le cas où il aurait besoin de connaître une route vers une certaine destination et qu'une telle route n'est pas disponible, Cela peut arriver si la destination n'est pas connue au préalable, ou si le chemin existant vers la destination a expiré sa durée de vie ou il est devenu défaillant.

Après la réception de cette requête les nœuds mettent à jour leurs informations relatives à la source. Outre l'IP de la source, le numéro de séquence courant et l'identifiant de diffusion, le paquet RREQ contient également la dernière valeur du numéro de séquence, associée au nœud destination, connue par la source.

Cette valeur est recopiée de la table de routage. Si le numéro de séquence n'est pas connu, la valeur nulle sera prise par défaut.

Un nœud recevant un paquet RREQ émettra alors un paquet « route reply » (RREP) s'il est la destination ou s'il possède une route vers la destination avec un numéro de séquence supérieur ou égal à celui repris dans le paquet RREQ. Si tel est le cas, il envoie un paquet RREP vers la source.

Les tables de routage des différents nœuds sont mises à jours après chaque retransmission de ces messages RREQ et RREP [44].

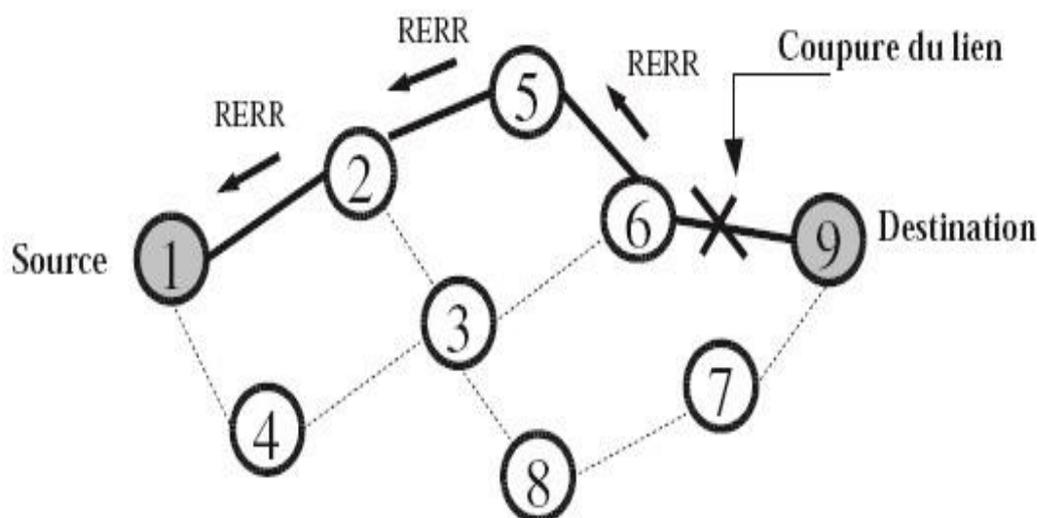


**Figure III. 2:** Inondation de RREQ et renvoie du RREP dans AODV [44].

Si le nœud demandeur ne reçoit pas de réponse RREP dans un délai donné, il diffusera une nouvelle demande. Si la requête RREQ est rejouée un certain nombre de fois sans recevoir de réponse, une erreur sera levée. Le nœud intermédiaire qui rejoue la requête de routage (entre le nœud source et le nœud de destination) enregistre l'adresse du nœud source qui a envoyé la requête pour la première fois et l'adresse du nœud voisin qui a envoyé la requête., Cette information est utilisée pour reconstruire la réponse de route (RREP) traversera la route inverse [44].

### 2.1.3. La maintenance de route :

Comme nous l'avons déjà dit, le protocole AODV met également en œuvre une procédure de maintenance de route, qui se termine par l'envoi périodique d'un message « HELLO » (c'est un RREP avec un TTL (time to live) de 1), deux adjacents Si le lien entre les nœuds ne reçoit pas respectivement trois messages "HELLO", le nœud sera considéré comme un échec. AODV conserve les adresses des voisins et les paquets de données envoyés à un nœud arrivent via ces adresses. Pour une destination donnée, si un voisin transmet au moins un paquet de données dans un certain laps de temps, le voisin est considéré comme actif. Si une entrée de la table de routage est utilisée par un voisin actif, l'entrée est active. Le chemin reliant la source et la destination via l'entrée active dans la table de routage est appelé chemin actif. Le mouvement des nœuds qui ne participent pas au chemin n'affecte pas la cohérence des données de routage. Si le lien entre deux nœuds est invalide (en raison de la mobilité ou d'une défaillance du nœud), les nœuds utilisant ce lien recevront un avertissement de message d'erreur (RERR), puis ils diffuseront une autre demande. La figure suivante illustre la coupure du lien entre deux nœuds et l'envoi de RERR en AODV [44].



**Figure III. 3:** Coupure de route et envoi du RERR dans AODV [44].

#### 2.1.4. Analyse du protocole AODV :

Le protocole AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) est un protocole de routage réactif, ce qui signifie que la route vers la destination n'est établie qu'en cas de besoin. Il combine le mécanisme de découverte et de maintenance de route avec la route de saut, en utilisant le numéro de séquence, et transmette périodiquement des paquets Hello. AODV utilise le numéro de série de DSDV pour mettre à jour la date des différentes routes afin d'obtenir les dernières routes et d'éviter les boucles. Le processus de découverte de route est dérivé du processus adopté par DSR.

En raison de la mobilité des nœuds dans le réseau maillé sans fil, des changements fréquents de routage entraînent l'échec de la maintenance du routage de certains nœuds, et AODV dispose d'une procédure de réparation locale pour le routage au point de défaillance. Par conséquent, il peut s'adapter aux changements de la topologie du réseau en trouvant très rapidement des chemins alternatifs, sans avoir besoin de reconstruire l'intégralité de la route. AODV utilise des tables de routage distribuées. Cela réduit la surcharge de chaque paquet de données, car chaque paquet de données n'est acheminé qu'en fonction du champ d'adresse de destination (routage de saut). De plus, le nœud doit périodiquement envoyer des paquets Hello pour conserver les informations de routage à jour.

Le protocole de routage AODV ne garantit pas que le meilleur chemin trouvé entre la source et la destination est utilisé mais il introduit une boucle de routage et évite le problème de "comptage à l'infini" de Bellman-Ford. Ce protocole présente l'avantage d'être sans temps de réaction et convient aux réseaux denses de taille moyenne et à fort trafic, mais il présente une capacité d'échange réseau limitée et un trafic de contrôle important [44].

#### 2.2. Le protocole DSR :

Le routage de source dynamique (DSR) est un protocole de routage monodiffusion interactif simple et efficace pour les réseaux ad-hoc mobiles multi phases.

La DSR se compose principalement de deux mécanismes : la découverte de la voie et le maintien de la voie. Le premier permet de sélectionner automatiquement les chemins nécessaires à la communication entre nœuds, tandis que le second permet de s'assurer que les chemins sont corrigés pendant toute la durée de leur utilisation. Nous décrirons ces deux mécanismes dans les sous-sections suivantes. [44].

##### 2.2.1. Découverte de route :

L'objectif de la découverte de routes est de trouver des routes entre les nœuds qui souhaitent communiquer dans le réseau. Par conséquent, DSR est un protocole réactif. Le nœud source S ne recherchera une route que lorsqu'il voudra envoyer un paquet au nœud de destination D, et

il n'y a pas de route vers lui dans son cache. Afin de trouver une route à partir de S, DSR initie la découverte de route en envoyant un paquet de diffusion d'en-tête de demande de route (RReq), qui inondera le réseau. Chaque nœud intermédiaire entre S et D qui reçoit un RReq non répété connecte son adresse à la liste contenue dans le RReq et la diffuse à son tour. Lorsque le nœud de destination D reçoit le paquet, il renvoie un paquet d'en-tête de réponse de route (RRep) au nœud source. De plus, dans le réseau, les nœuds peuvent stocker des informations de routage obtenues via divers paquets Route Discovery et paquets de données reçus dans leurs caches. De plus, si un nœud intermédiaire qui reçoit un RReq possède en cache une route vers la destination D, alors il envoie un RRep à S en ajoutant la route connue. Finalement, le nœud source obtient plusieurs routes pour atteindre le destinataire. Une fois ces routes connues, le nœud va pouvoir envoyer des paquets d'option Source Route (SrcR) contenant les données à échanger [44].

### **2.2.2. La Route Request contient :**

Dans le réseau Ad Hoc, le nœud est mobile. Après envoi de la donnée, il faut vérifier que la topologie est toujours la même, et la source S peut utiliser la route pour atteindre la destination D. À cette fin, DSR utilise un mécanisme de maintenance de route, qui est un continuum de trois processus conditionnels. Tout d'abord, DSR interroge la couche liaison de données pour voir si elle maintient la liaison. Si ce dernier ne le fait pas, DSR écoutera tous les paquets dans sa portée radio. Vérifiez chaque paquet pour voir s'il s'agit d'un paquet retransmis par le nœud suivant ou d'un autre paquet. Dans le premier cas, cela signifie que le lien est valide.

Dans de nombreux cas, la confirmation de la réception des paquets peut être réalisée en utilisant la fonction de la couche MAC (la norme IEEE 802.11 fournit cette fonction) ou par confirmation passive. Si les deux premiers tests échouent finalement, le DSR renverra le paquet de données d'origine, en ajoutant une option AckReq (AckReq), et le nœud suivant répondra à cette option avec un paquet Ack. Dans le cas d'un échec complet de maintenance de route, le nœud qui détecte l'interruption de lien mettra à jour son cache de route et enverra un paquet de type erreur de route (RErr) à la source. Si nécessaire, ce dernier peut sélectionner une nouvelle route ou relancer la procédure de découverte de route.

Les aspects ci-dessus et la spécificité du DSR doivent être correctement spécifiés afin que la mise en œuvre du DSR puisse être vérifiée ultérieurement. Cependant, dès que l'on veut modéliser un protocole de communication pour un réseau sans fil, certaines difficultés surviennent. Dans ce qui suit, nous présenterons nos spécifications et les contraintes et concepts utilisés [44].

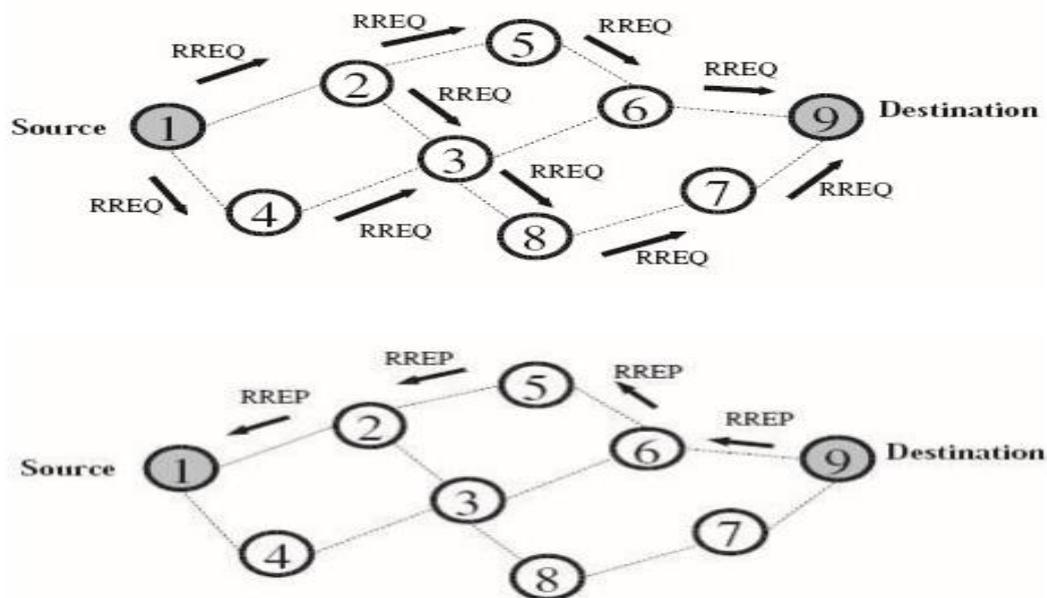


Figure III. 4: Découverte de route dans le protocole DSR [44].

• **Analyse du protocole DSR :**

Le DSR (Dynamic Source Routing) est un protocole de routage pour les réseaux sans fil, basé sur l'utilisation de la technologie de « routage source », ce qui signifie que toute la séquence de nœuds par lesquels un paquet de données doit être passé est déterminée à la source. Le nœud n'a pas besoin de table de routage. Les deux opérations de base de DSR sont : la découverte de chemin et la maintenance de chemin. Semblable à AODV, la demande de route dans DSR doit inonder le paquet de demande de route lorsque le nœud veut transmettre. Afin de réduire le coût et la fréquence de découverte de chemin, chaque nœud suit le chemin trouvé à l'aide du paquet de réponse. Ces chemins continueront d'être utilisés jusqu'à ce qu'ils deviennent invalides. L'un des principaux avantages du DSR est son fonctionnement purement interactif où les mécanismes de routage ne sont déployés qu'en cas de besoin, ce qui réduit la consommation de bande passante. Ceci, avec le routage source, permet d'éviter la duplication et élimine le besoin de messages de mise à jour périodiques.

De plus, de cette manière, la source n'a qu'à maintenir un chemin fixe vers la destination et n'a pas à enregistrer sur les nœuds intermédiaires. Cependant, l'utilisation du routage source implique une surcharge importante par paquet de données car le chemin est contenu dans chaque en-tête. Plusieurs améliorations ont été apportées à l'algorithme DSR initial. Le protocole DSR est très inefficace dans les grands réseaux où chaque source doit avoir une visibilité dans le réseau. Mais pour les réseaux de petite et moyenne taille, il profite de l'AODV [44].

**Comparaison entre les protocoles AODV et DSR**

Le tableau suivant présente une comparaison entre les deux protocoles de routages :

| AODV  | DSR   |
|---|---|
| Existe une table de routage   | N'existe pas de table de routage  |
| La maintenance de route se fait au niveau de la table de routage      | La maintenance de route se fait dans le cache de route  |
| La Découverte de route s'effectue par une Inondation0                 | La Découverte de route s'effectue par une inondation.   |
| Utilise des messages « HELLO » mais avec les voisins actifs seulement | N'utilise pas des messages « HELLO »  |
| La route découverte est stockée à chaque nœud                         | La route découverte est insérée dans l'entête du paquet   |
| Utilise un numéro de séquence   | N'utilise pas de numéro de séquence, il maintient la totalité des routes aussi longtemps que cela est nécessaire. |
| Utilise des temporisateurs de route                                   | N'utilise pas des temporisateurs de route   |
| Une seule route disponible  | Multiple routes disponibles   |
| Pas besoin de mise à jour périodique                                  | Pas besoin de mise à jour périodique  |

**Tableau III. 3:** Tableau comparatif [44].

**AODV avantages et inconvénients :**

Le tableau suivant présente les avantages et les inconvénients du protocole AODV :

| Avantages   | Inconvénient  |
|---|---|
| Le rappel de l'adresse IP du nœud origine dans chaque message. Ceci permet de ne pas perdre la trace du nœud à l'origine du message lors des différents relais. | Utilise les numéros de séquences qui permettent d'éviter les problèmes de boucles infinies et qui sont essentiels au processus de mise à jour de la table de routage. |
| possède des procédures de réparation locale de la route à son point de cassure.   | N'assure pas l'utilisation du meilleur chemin existant entre la source et la destination.   |
| Utilise des tables de routage distribuées. Cela diminue l'overhead par paquet.  | a une capacité d'échange du réseau limitée et un Trafic de contrôle important.  |
| adapté aux réseaux denses de taille moyenne et à forte mobilité.  | Il n'existe pas de format générique des messages. Chaque message a son propre format : RREQ, RREP, RERR.  |

**Tableau III. 4:** AODV avantages et inconvénients [44].

**DSR avantages et inconvénients :**

Le tableau suivant présente les avantages et les inconvénients du protocole DSR :

| <b>Avantages</b>  | <b>Inconvénient</b>  |
|---|--|
| Chaque nœud garde trace des chemins trouvés ce qui réduit le coût et la fréquence de la découverte de routes. | Connaissance totale par un nœud de la route empruntée.   |
| Les mécanismes de routage ne sont déployés en cas de besoin ce qui réduit la consommation de bande passante.  | un overhead important par paquet de données car la route est incluse dans chaque en-tête.                |
| Aucune mémorisation n'est nécessaire sur les nœuds intermédiaires.  | Le protocole DSR n'est pas très efficace dans les grands réseaux   |
| ur les<br>yens réseaux.   | Il n'existe pas de format générique des messages. Chaque message a son propre format : RREQ, RREP, RERR. |

**Tableau III. 5:** DSR avantages et inconvénients [44].

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présentés une étude sur les deux protocoles réactifs **AODV** et **DSR**, définition, leurs fonctionnements dans les réseaux de capteur sans fil, nous avons présentés la table de routage, la découverte de route, la maintenance de la route et une analyse des deux protocoles de routages, enfin, nous nous sommes décrit une brève comparaison entre les deux protocoles et les avantages et les inconvénients de chaque protocole de routage, dans les des tableaux.

Dans le quatrième chapitre nous allons faire la simulation des deux protocoles de routages.

# Chapitre 04

## Chapitre IV : La Simulation Et Discussion Des Résultats

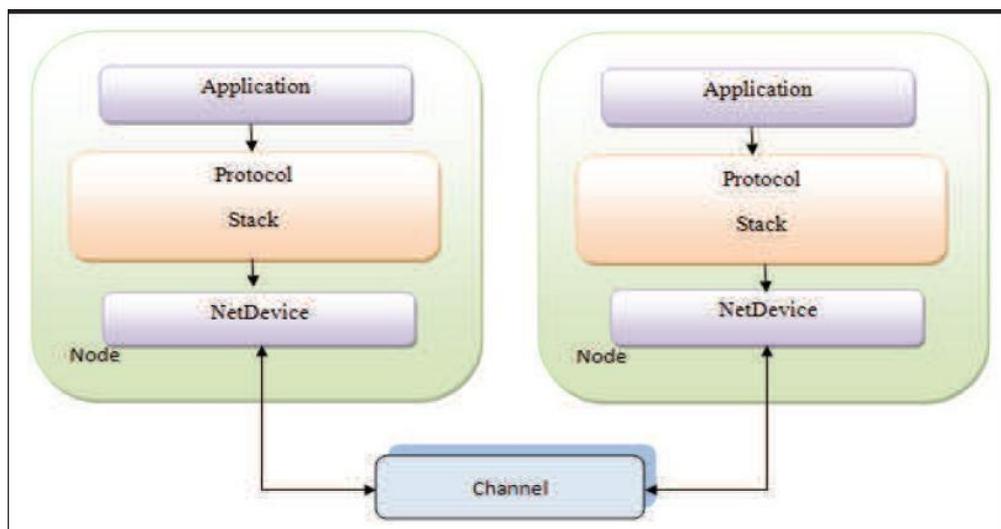
### 1. Introduction :

Après avoir analysé et comparé les deux protocoles de routage (**AODV** et **DSR**) au chapitre 3, nous effectuerons des simulations. Ce dernier permet aux utilisateurs de définir le réseau et de simuler la communication entre les nœuds du réseau, de tester de nouveaux protocoles à faible coût, de prévoir les problèmes futurs et de mettre en œuvre la technologie la plus adaptée à leurs besoins. Nous avons choisi le logiciel NS3 car c'est un très bon outil de recherche et développement de nouveaux protocoles pour différents types de réseaux. Dans ce chapitre on a trois parties : Dans la première partie, nous présenterons le simulateur utilisé pour cette simulation, **NETWORK SIMULATOR3 (NS3)**. Dans la deuxième partie, nous allons faire une comparaison entre les deux protocoles de routage réactifs (**AODV** et **DSR**) qui ont été intégrés dans le simulateur **NS3**.

### 2. Présentation du simulateur NS3 :

#### 2.1. Brève présentation du simulateur NS3 :

Le simulateur NS-3 vise à remplacer à terme son prédécesseur NS2. Les scripts sous NS3 peuvent être écrits en C++ et en python au lieu du langage oTcl comme c'est le cas sous NS2. NS3 est un simulateur open-source, orienté objets et à événements discrets. Le projet NS3 s'efforce de maintenir un environnement ouvert pour que les chercheurs puissent contribuer et partager leurs logiciels. NS3 est principalement utilisé sur les systèmes Linux, bien qu'il existe un support pour FreeBSD, Cygwin (pour Windows) et Le support natif de Windows Visual Studio est en cours de développement [45].



**Figure IV. 1:** Architecture d'un nœud sous NS-3 [45].

Le simulateur NS3 dispose de deux outils clés pour la visualisation des scénarios de simulation : PyVis et NetAnim. Des fichiers de trace ASCII et PCAP (fichiers à visualiser avec les outils Tcpcdump ou Wireshark) peuvent être générés pour suivre le déroulement de la simulation. NS3 permet aussi de générer des fichiers exploitables directement par l’outil Gnuplot.

NS3 permet la simulation des protocoles des médias (Ethernet, WIFI, WiMax...) et des protocoles (TCP, UDP, IPv4, IPv6, OLSR, AODV . . .).

### **3. Terminologie utilisée par NS3**

Il est important de bien comprendre le sens des termes employés au sein du simulateur lors de la conception d’un réseau à simuler. NS-3 utilise des termes largement employés dans le domaine des réseaux, mais qui peuvent avoir une signification particulière au sein du simulateur. Dans ce qui suit, nous citerons les plus importantes [45].

#### **- Nœud :**

Représente tout élément du réseau. La composition d’un nœud peut être gérée (ajout de composants, d’applications et de protocoles).

#### **- Application :**

Représente un code exécuté par un utilisateur. Ce code est nécessaire au déroulement d'une simulation. L'échange de paquets durant une simulation nécessite par exemple la description d'une application au sein des nœuds participants (par exemple, UdpEchoClientApplication du côté client et UdpEchoServerApplication du côté serveur, pour réaliser une application en mode client/serveur).

#### **- Canal de communication :**

Représente le lien qui relie des nœuds, ou plus exactement les NetDevices installés dans les nœuds. Des spécialisations de cette classe sont définies, comme par exemple WifiChannel pour modéliser un lien Wifi [45].

#### **Installation DU NS3 version 3.25 :**

##### **Etape1 :**

Exécutez les commandes ci-dessous :

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get upgrade
```

Après:

```
sudo apt-get install gcc g++ python python-dev mercurial bzip2 gdb valgrind gsl-bin flex
bison tcpdump sqlite sqlite3 libsqlite3-dev libxml2 libxml2-dev libgtk2.0-0 libgtk2.0-dev
uncrustify doxygen graphviz imagemagick texlive texlive-latex-extra texlive-generic-
extra texlive-generic-recommended texinfo dia texlive texlive-latex-extra texlive-extra-
utils texlive-generic-recommended texi2html python-pygraphviz python-kiwi
pythonpygocanvas libgocanvas-dev python-pygccxml qt4-qmake libqt4-dev
```

#### 4. Modèle de simulation :

La simulation de ces deux protocoles est faite sur le même modèle de simulation qui représente sur le tableau suivant :

**Simulator: NS3 v 3.25**

**System Operating: UBUNTU 20.04**

| <b>SIMULATEUR</b>           | <b>NETWORK SIMULATOR 3</b> |
|-----------------------------|----------------------------|
| <b>SIMULATION DE NOEUDS</b> | 20                         |
| <b>TYPE D'INTERFACE</b>     | PHY/WIRELESSPHY            |
| <b>CHANNEL</b>              | WIRELESS CHANNEL           |
| <b>TYPE MAC</b>             | MAC/802.11                 |
| <b>QUEUE TYPE</b>           | QUEUE/DROPTAIL/PRIQUEUE    |
| <b>QUEUE LENGTH</b>         | 201 PACKETS                |
| <b>ANTENNA TYPE</b>         | OMNI ANTENNA               |
| <b>PROPAGATION TYPE</b>     | TWORAY GROUND              |
| <b>TAILLE DU PACKET</b>     | 512                        |
| <b>PROTOCOLE</b>            | DSR/AODV                   |
| <b>TRAFIC</b>               | TCP                        |

**Tableau IV. 1:** Modèle de simulation

#### 4.1. Métrique :

Trois métriques sont utilisées afin d'évaluer notre approche :

- Receive Rate (Taux de réception).
- Packet Received (Nombre de paquets reçus).
- End2End Delay (retard bout en bout).

##### 4.1.1. Scénario 01 :

Dans le processus de création de nœuds, nous allons créer 20 nœuds de nature mobile.

Après cela, ces 20 nœuds construisent le réseau sans fil.

Sélectionnez ensuite le nœud source S et le nœud de destination D.

Après cela, le nœud source diffuse des messages RREQ contenant l'identifiant des nœuds à tous les nœuds du réseau pour enrichir la destination.

Après cela, le nœud de destination a diffusé des messages RREP à tous les nœuds du réseau pour enrichir la source.

Sélectionnez ensuite le chemin optimal entre la source et la destination en utilisant le protocole de routage DSR.

Pendant la transmission de paquets, le nœud source vérifie l'ID, le mot de passe de temps du nœud voisin dans un chemin en utilisant une technique de comparaison de mot de passe aléatoire.

Si un nœud n'utilise pas beaucoup ces paramètres, ce nœud laisse tomber les paquets dans un chemin spécifié. Ce nœud a plus d'une identité sur tous les nœuds.

Trouvez ensuite le nœud de l'attaquant.

Sélectionnez le meilleur chemin entre la source et la destination.

Effectuez ensuite la transmission du paquet.

Après la transmission du paquet, sélectionnez une autre source et destination, puis effectuez le processus.

#### **4.1.2. Scénarios 02 :**

Dans le processus de création de nœuds, nous allons créer 20 nœuds de nature mobile.

Après cela, ces 20 nœuds construisent le réseau sans fil.

Sélectionnez ensuite le nœud source S et le nœud de destination D.

Après cela, le nœud source diffuse des messages RREQ contenant l'identifiant des nœuds à tous les nœuds du réseau pour enrichir la destination.

Après cela, le nœud de destination a diffusé des messages RREP à tous les nœuds du réseau pour enrichir la source.

Sélectionnez ensuite le chemin optimal entre la source et la destination en utilisant le protocole de routage **AODV**.

Pendant la transmission de paquets, le nœud source vérifie l'ID, le mot de passe de temps du nœud voisin dans un chemin en utilisant une technique de comparaison de mot de passe aléatoire.

Si un nœud n'utilise pas beaucoup ces paramètres, ce nœud laisse tomber les paquets dans un chemin spécifié. Ce nœud a plus d'une identité sur tous les nœuds.

Trouvez ensuite le nœud de l'attaquant.

Sélectionnez le meilleur chemin entre la source et la destination.

Effectuez ensuite la transmission du paquet.

Après la transmission du paquet, sélectionnez une autre source et destination, puis effectuez le processus.

## 4.2. Résultats et discussion :

- Dans la partie simulation, nous avons étudié l'effet de la vitesse des nœuds sur les trois métriques (**Taux de réception, Nombre de paquets reçus et le retard bout en bout**).

| T(S) | Taux de Rec AODV | Taux de Rec DSR | Packet Reçu AODV | Packet Reçu DSR | Debit AODV | Debit DSR |
|------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------|-----------|
| 0    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 1    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 2    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 3    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 4    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 5    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 6    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 7    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 8    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 9    | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 10   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 11   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 12   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 13   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 14   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 15   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 16   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 17   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 18   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 19   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 20   | 0                | 0               | 0                | 0               | 7.5        | 7,5       |
| 21   | 2.048            | 3.584           | 4                | 7               | 11.5       | 14.5      |
| 22   | 2.048            | 8.704           | 4                | 17              | 11.5       | 24.5      |
| 23   | 6.656            | 7.68            | 13               | 15              | 20.5       | 22.5      |
| 24   | 4.096            | 8.192           | 8                | 16              | 15.5       | 23.5      |
| 25   | 4.096            | 7.68            | 8                | 16              | 15.5       | 22.5      |
| 26   | 6.656            | 6.656           | 13               | 13              | 20.5       | 20.5      |
| 27   | 2.048            | 6.656           | 4                | 13              | 11.5       | 20.5      |
| 28   | 3.584            | 6.144           | 7                | 12              | 14.5       | 19.5      |
| 29   | 4.096            | 6.144           | 8                | 12              | 15.5       | 19.5      |
| 30   | 8.192            | 8.704           | 16               | 17              | 23.5       | 24.5      |
| 31   | 12.8             | 8.192           | 25               | 16              | 32.5       | 23.5      |
| 32   | 12.8             | 7.68            | 25               | 15              | 32.5       | 22.5      |
| 33   | 9.216            | 7.68            | 18               | 15              | 25.5       | 22.5      |
| 34   | 7.168            | 7.168           | 14               | 14              | 21.5       | 21.5      |
| 35   | 4.096            | 9.216           | 8                | 18              | 15.5       | 25.5      |
| 36   | 7.168            | 38.912          | 14               | 76              | 21.5       | 83.5      |
| 37   | 8.192            | 29.696          | 16               | 58              | 23.5       | 65.5      |
| 38   | 8.192            | 12.288          | 16               | 24              | 23.5       | 31.5      |
| 39   | 7.68             | 12.288          | 15               | 24              | 22.5       | 31.5      |
| 40   | 6.656            | 10.24           | 13               | 24              | 20.5       | 31.5      |

**Tableau IV. 2:** résultats de la simulation des deux protocoles.

### A. Le taux de réception (Receive Rate) :

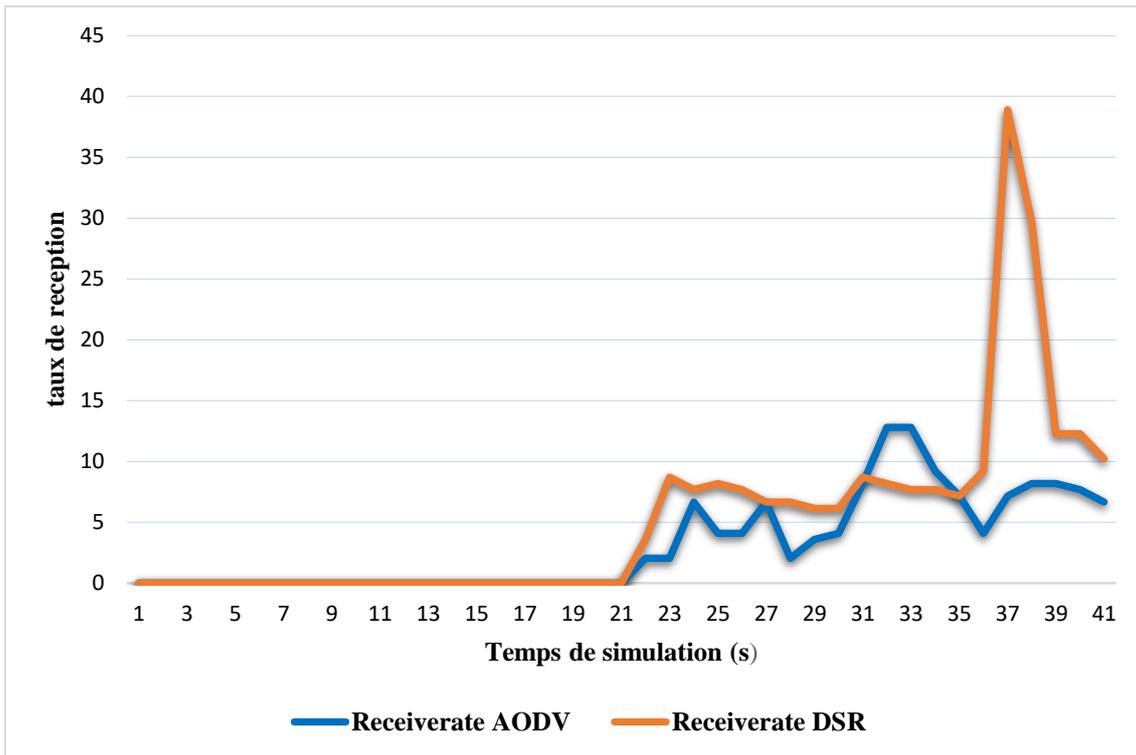


Figure IV. 2: Taux de réception 20 nœuds

### Discussion :

D'après la figure en haut, nous remarquons que le protocole de routage **DSR** offre un taux de réception meilleur que le taux de réceptions du protocole de routage **AODV**, mais pas une grande différence, ça avec une simulation avec 20 nœuds, alors le taux de réception est nul dans l'intervalle de temps [0 à 20] second sur les deux protocoles, le taux de réception augmente à partir du 20 seconds jusqu'à la fin de la simulation sur les deux protocoles aussi.

Nous remarquons que le taux de réception du protocole de routage **DSR** augmente beaucoup plus par rapport au protocole de routage **AODV** à partir du 35 second. En déduire que le taux de réception du protocole de routage **DSR** augmente par rapport au celui du protocole de routage **AODV**, avec l'augmentation du temps de la simulation. Ce signifie que le protocole de routage **DSR** donne un taux de réception plus fort que celui du protocole de routage **AODV**.

## B. Nombre de paquets reçus (Packet Received) :

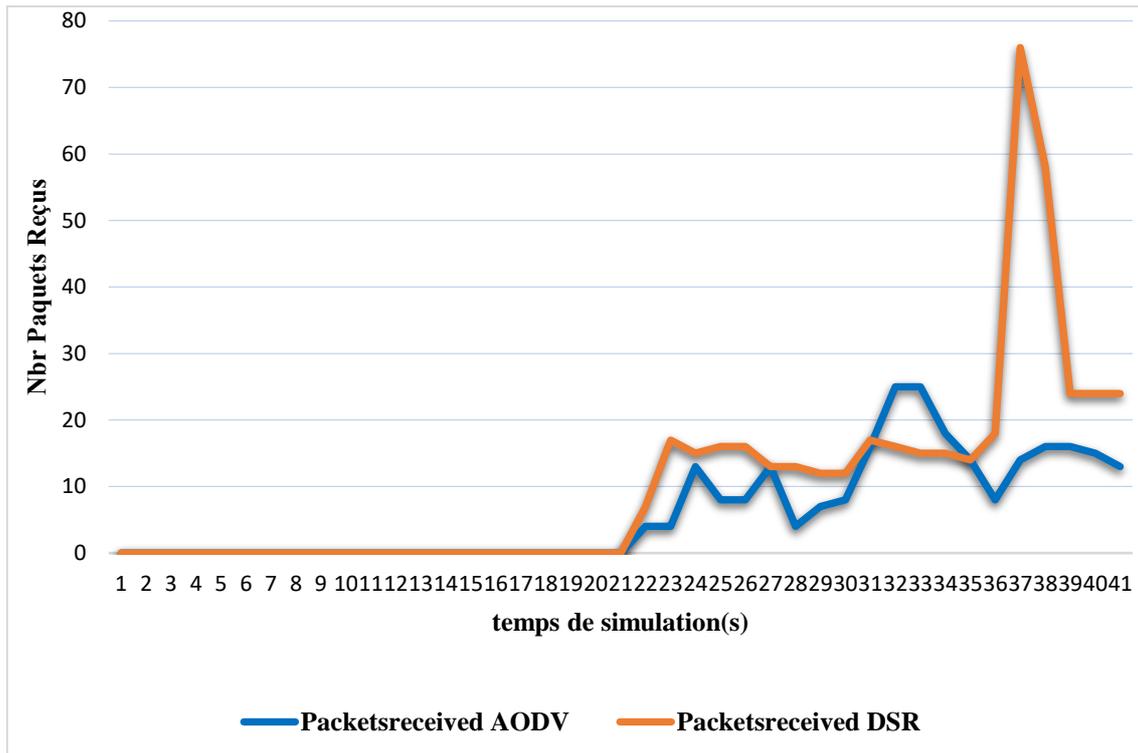


Figure IV. 3: Nombre de paquets reçus 20 nœuds

### Discussion :

D'après la figure en haut, qui représente les résultats obtenus dans notre exemple de simulation, nous remarquons que le protocole de routage **DSR** offre un nombre de paquets reçus plus que le nombre de paquets reçus du protocole de routage **AODV**, ce qui présente dans la figure en haut, le nombres des paquet reçus et égale à zéro du [0 à 20] second, ce résultat est lié au ces deux protocoles de routage, le nombre de paquets reçus augmente à partir du 20 seconds jusqu'à la fin de la simulation sur les deux protocoles aussi.

Nous remarquons que le nombre de paquets reçus du protocole de routage **DSR** augmente beaucoup plus par rapport au nombre de paquets reçus du protocole de routage **AODV** à partir du 35 second. En déduire que le nombre de paquets reçus du protocole de routage **DSR** augmente par rapport au celui du protocole de routage **AODV**, avec l'augmentation du temps de la simulation. Ce signifie que le protocole de routage **DSR** donne un meilleur résultat (nombre de paquets reçus) par rapport au protocole de routage **AODV**.

### C. Retard bout en bout (End2End Delay) :

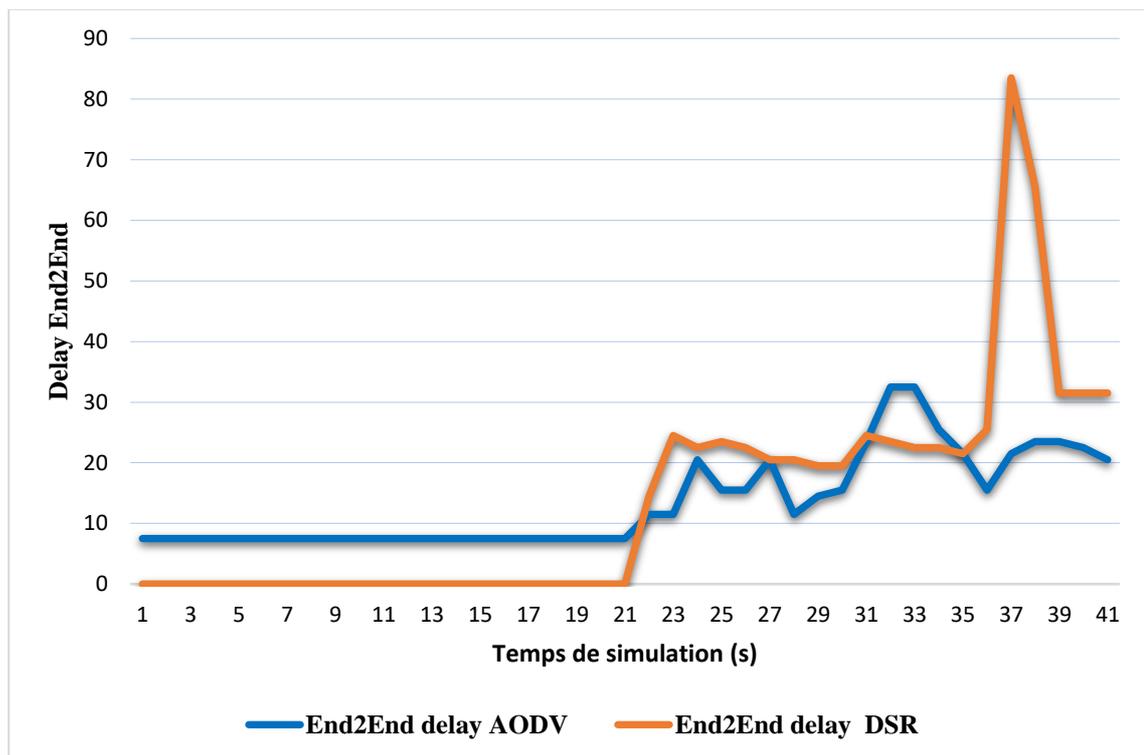


Figure IV. 4: End 2 End Delay 20 nœuds

#### Discussion :

La figure en haut, représente les résultats de la simulation sur le métrique Delay End2End, la même remarque qu'ont donnés sur les autres métriques. C'est que le protocole de routage **DSR** offre un Delay End2End meilleur que le protocole de routage **AODV**, alors le Delay End2End est nul dans l'intervalle de temps [0 à 20] second sur les deux protocoles, Delay End2End augmente à partir du 20 seconds jusqu'à la fin de la simulation sur les deux protocoles.

Nous remarquons que Delay End2End du protocole de routage **DSR** augmente beaucoup plus par rapport au Delay End2End du protocole de routage **AODV** à partir du 35 second. En déduire que le Delay End2End du protocole de routage **DSR** augmente par rapport au Delay End2End du protocole de routage **AODV** avec l'augmentation du temps de la simulation. Ce signifie que le protocole de routage **DSR** donne un Delay End2End plus fort que celui du protocole de routage **AODV**.

## **5. Problèmes rencontrés**

Dans ce mémoire, la seule difficulté qu'on a rencontrée c'est l'installation du **NS3** sur **LINUX**, et aussi l'apprentissage du simulateur, alors nous avons utilisés des tutoriels sur internet qui donnent au moins des explications et des exemples sur ce simulateur

## **6. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons faire une comparaison entre les deux protocoles de routage **AODV** et **DSR** en utilisant le simulateur **NS3** ou le but est d'étudier les performances avec différentes métriques. Nous avons utilisé trois métriques qui sont le taux réceptions, le nombre de paquets reçus, et le retard bout en bout.

Les résultats de simulation ont été récupérés, traités puis représentés sur des graphes et interprétés pour distinguer la différence et comprendre le comportement de chaque protocole.

### Conclusion générale :

Les réseaux de capteurs sans fil sont en train de devenir une nouvelle technologie prometteuse. En fait, ils profitent de fonctionnalités utiles telles que la facilité de déploiement et de l'absence d'une gestion centralisée des communications. Les réseaux de capteurs sans fil tentent de répondre au nombre croissant d'utilisateurs et de leurs applications qui nécessitent de plus en plus de ressources.

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer les performances des réseaux des capteurs, nous nous sommes d'abord attachés à détailler les réseaux de capteurs sans fil en insistant sur leurs caractéristiques, leurs structures, leurs classifications, leurs modes de fonctionnement et leurs domaines d'applications.

Nous nous sommes présentés des généralités sur les protocoles de routage utilisés dans cette classe de réseau. Nous concentrons sur les deux protocoles réactifs **AODV** et **DSR** en effectuant un exemple de simulation avec ces deux protocoles de routage, et nous faisons une analyse des résultats.

Cette analyse a été conclue par des simulations où nous avons simulé les deux protocoles étudiés précédemment avec le simulateur **NS3**, ce qui nous a donné des résultats et des analyses comparatives montre à nous que le protocole **DSR** est plus performant que le protocole **AODV** sur les trois métriques précédentes.

### Liste des Références

- [1] A. Salima épouse BRAHAMI Evaluation du Protocole Directed Diffusion dans un réseau de capteurs sans fil mémoire master en Informatique, Université Abou Bakr Belkaid- Tlemcen, Année : 2013-2014.
- [2] A. CHOUHA. Traitement et transfert d'image par réseau de capteur sans fil. Mémoire de magistère en informatique, Université Hadj Lakhdar -Batna, Algérie ,2011.
- [3] Arati Manjeshwar and Dharma P. Agrawal « A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks » Center for Distributed and Mobile Computing, ECECS Department, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0030.
- [4] FARES Abdelfatah, "Développement d'une bibliothèque de capteurs ", université Montpellier 2, 25/04/2008.
- [5] Diery 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), 17 Mai 2016.
- [6] ABDESSELAM Abdelhalim- BELOUATEK Mohammed. Conception d'un algorithme de routage basé sur l'heuristique du recuit simulé pour les réseaux de capteurs à grande échelle. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique. Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen. 2012-2013
- [7] F. Z BEVHAMIDA. Tolerance aux pannes dans les réseaux de capteur sans fil. Mémoire de magistère en ingénierie des systèmes informatiques, Ecole Nationale supérieure en informatique, Alger, Algérie, 2009.
- [8] D. Martins, Sécurité dans les réseaux de capteurs sans fil Sténographie et réseaux de confiance, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 2010.
- [9] Mlle Chaouche Hanane „" Réalisation d'un prototype d'un réseau de capteurs sans fil dédié à l'agriculture de précision"" Juin 2015 Université Abou Bakr Belkaid –Tlemcen.
- [10] [https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau\\_de\\_capteurs\\_sans\\_fil](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_capteurs_sans_fil).
- [11] YACINE CHALLAL, "Réseaux de Capteurs Sans Fils",
- [12] "[https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/RCSF\\_web.html](https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/RCSF_web.html)", Version 1, 18/11/2008.
- [13] Cédric RAMASSAMY. Analyse des protocoles des Réseaux de capteurs sans fil. DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DES ANTILLES ET DE LA GUYANE. 2012.
- [14] K. Yang. "A study on power-friendly routing protocols for sensor networks". Technical Report, University of Essex Department of Electronic Systems Engineering, Mars 2005.

- [15] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks". Proceedings of the IEEE Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 3005-3014, Janvier 2000.
- [16] K. Akkaya and M. Younis. "A survey on routing protocols for wireless sensor networks ". Ad Hoc Networks, Vol. 3, No. 3, pp. 325-349, 2005.
- [17] Y. Yao and J. Gehrke. "The cougar approach to in-network query processing in sensor networks". ACM SIGMOD Record, Vol. 31, No. 3, pp. 9-18, Septembre 2002.
- [18] A. Hac. "Wireless sensor network designs ". John wiley and sons ltd edition, 2003.
- [19] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman. "A taxonomy of wireless micro-sensor network models". ACM Mobile Computing and Communication Review, Vol. 6, No. 2, pp. 28-36, 2002.
- [20] A. El-Hoidy. "Spatial TDMA and CSMA with preamble sampling for low power adhoc wireless sensor net works". Proceedings of the IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Taormina/Giardini Naxos, Italy, pp. 685-692, Juillet 2002.
- [21] A. K. DWIVEDI, O. P. VYAS, «Network Layer Protocols for Wireless Sensor Networks: Existing Classifications and Design Challenges», International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 8– No.12, 2010.
- [22] Y. Romdhane, " Evaluation des performances des protocoles S-MAC et Directed Diffusion dans les réseaux de capteurs ", Projet de fin d'études, Ecole Supérieure des Communications de Tunis (Sup'Com), 2006 / 2007.
- [23] S. belkheyr, Etude d'un protocole de routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou Bakr Belkaid- Tlemcen, 2012-2013.
- [24] B. KARIMA, Les simulateurs réseaux Technologie réseau. PhD thesis, Université de Bejaia Faculté des Sciences et Techniques, 2013/2014
- [25] L.Ding "The Improvement of LEACH Protocol in WSN",College of science,Huazhong Agricultural University Wuhan,China,20 II International Conference on Computer Science and Network Technology.
- [26] R. MOHAMED, Problèmes de sécurité dans les Réseaux de capteurs avec prise en charge de l'énergie, mémoire de magister, université de saad dahlab de Blida, Novembre 2013.
- [27] I. Mahgoub, M. Ilyas, " Sensor Network Protocol ", Hardcover Book,ISBN : 0849370361, Number of pages : 248, USA, 27 Janvier 2006.
- [28] A. Bouabdallah, H. Betthahar, Y. Challal, " Les Réseaux de capteurs (WSN : Wireless Sensor Networks) ", Cours, Université de Technologie de Compiègne, France, 2008.

- [29] S. Fdida et G. Hébuterne. " Méthodes exactes d'analyse de performance des réseaux ". Lavoisier Ed, Paris, 2004.
- [30] Indu, Sunita Dixit, " Wireless Sensor Networks: Issues & Challenges", IJCSMC, Vol. 3, Issue. 6, pg.681 – 685, June 2014.
- [31] Lahcene DEHNI \*, Younes BENNANI \*, Francine KRIEF. » Une nouvelle approche de routage dans les réseaux de capteurs pour l'optimisation de la consommation d'énergie » Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique UMR 5800 du CNRS, université Bordeaux.
- [32] F.Z. Benhamida, " La tolérance aux pannes dans les réseaux de capteurs sans fil ", Rapport du mini projet, Institut National de Formation en Informatique INI, Algérie, 2006/2007.
- [33] L. Khelladi, N. Badache " Les réseaux de capteurs : état de l'art ", Rapport de recherche, Algérie, Février 2004.
- [34] I. D. Chakeres and E. M. Belding-Royer, "AODV routing protocol implementation
- [35] Kamal beydoun, « conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs », l'U.F. R des sciences et techniques de l'université de franche -comte, décembre 2009.
- [36] Seloua chettibi, « Protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux mobiles ad-hoc », Université Mentouri Constantine, Décembre 2008.
- [37] David elorrieta, « Protocoles de routage pour l'interconnexion des réseaux Ad-Hoc et UMTS », l'académie universitaire wallonie- bruxelles,2007.
- [38] S. Maag —C. Grepet — A. Cavalli, Institut National des Télécommunications CNRS UMR 51579, rue Charles Fourier, F-91011 Evry Cedex {Stephane.Maag, Cyril.Grepet, Ana.Cavalli}@int-evry.fr
- [39] Rabah meraihi, « Gestion de la qualité de service et contrôle de topologie dans les réseaux ad hoc », Ecole nationale supérieure des télécommunications.
- [40] BOUATIA Wassila, MEZIANE TANI Fadia Selma, « étude et évaluation des performances du réseau wifi mesh (802.11s) », UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID-TLEMCCEN, Juillet 2013.
- [41] M. Macedo, A. Grilo, and M. Nunes, "Distributed Latency-Energy Minimization and interference avoidance in TDMA Wireless Sensor Networks". Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2009, pp. 569582.
- [42] M. Nunes, A. Grilo, M. Macedo, "Interference-free TDMA slot allocation in Wireless Sensor Networks". In: Proceedings of the 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks (IEEE LCN'2007), Dublin, Ireland, October 2007.

## Liste des Références

- [43] Benayad Abdelhak, Implémentation Et Sécurisation du Protocole De Routage AODV optimisé pour les RCSF (OAODV), Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen 2017.
- [44] Milles Bouattia Wassila ET Meziane Tani Fadila, Etude et évaluation des performances du réseau wifi mesh 802.11s, Juillet 2013.
- [45] Mrs Sidi Ikhlef Abdellatif ET Djebar Anes, Proposition d'un algorithme de planarisation d'un graphe de connections d'un réseau Ad-hoc basé sur un modèle radio réaliste, Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb D'Ain-Temouchent Institut de Technologie, 2016.