

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2018

Faculté: Sciences de l'Ingénierat
Département: Electronique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

**Les performances des protocoles de routage dans les réseaux
de capteurs sans fil**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electronique

Spécialité: Réseaux et télécommunication

Par :

KHAWLA SMIDA

DEVANT Le JURY

Président : MESADEG .D MCA Université Badji Mokhtar Annaba

Directeur de mémoire: HAFS.T MCB Université Badji Mokhtar Annaba

Examineur : DOGHMANE.N PROF Université Badji Mokhtar Annaba

Examineur : SMIRA .H MCB Université Badji Mokhtar Annaba

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens remercier Dieu, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Je remercie également mon encadreur monsieur T.HAFS qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses encouragements, et ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce projet du début à la fin.

*Je remercie infiniment Monsieur **MESADEG .D** d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.*

*Je remercie très sincèrement Monsieur **DOGHMANE.N** ainsi que Monsieur **SMIRA .H** pour l'immense honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce modeste travail.*

Je remercie toute ma famille, surtout mes parents mes frères et mes sœurs pour leurs soutiens et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Un grand merci à mes chères amies qui ont toujours été présents et fidèles.

Merci à tous et à toutes.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*À celle qui m'a donné à la vie, qui s'est sacrifié
pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère*

*À mon père, qui a été mon ombre durant toutes
les années des études, qui a veillé à me donner
l'aide, à m'encourager et à me protéger,
que dieu les garde et les protèges.*

*Je dédie aussi ce travail à mes frères et
sœurs, ma familles, mes amis,
tous mes professeurs qui m'ont enseigné
et à tous ceux qui me sont chers.*

S.KHALLA

Résumé

La technologie " réseaux de capteurs " forme actuellement un domaine de recherche très vaste et a fait l'objet de nombreuses études au cours de ces dernières années. Les réseaux de capteurs sont des réseaux formés d'un grand nombre de nœuds capteurs qui collaborent entre eux pour fournir un service bien déterminé. Cependant, ces réseaux soulèvent des problèmes fondamentaux pour la communauté scientifique. Le problème majeur de ce type de réseau est la ressource énergétique limitée donc la conservation d'énergie constitue l'un des axes de recherche les plus importants afin de maximiser la durée de vie du réseau. Il existe de différents protocoles de routage qui peuvent fournir des avantages importants pour les réseaux de capteurs sans fil en termes à la fois de la performance et de la fiabilité. Beaucoup de protocoles de routage ont été conçus pour les réseaux de capteurs sans fil. Mais on a choisi de travailler sur AODV et DSR qui sont des protocoles conçus à la base pour les réseaux ad hoc afin d'étudier leur adaptabilité au RCSFs. Le simulateur NS-2 a été utilisé pour comparer les performances de ces deux protocoles en visant les métriques débits, délai de bout en bout, et taux de livraison de paquets.

Mots clés : Réseaux de capteurs sans fil, Consommation d'énergie, Protocoles de routage, Evaluation des performances, AODV, DSR, simulation, NS2.

Abstract

"Sensor networks" Technology now form a vast area of research and has been the subject of numerous studies over the last years. It is a network formed by many sensor nodes that work together to provide a well-defined service. However, these networks faces some fundamental problems. The major problem with this type of network is the limited energy so in order to maximise the network lifetime, energy conservation is one of the most important research areas. There are different routing protocols that can provide significant advantages for wireless sensor networks in terms of both performance and reliability. Many routing protocols have been designed for wireless sensor networks. here we chose to work on AODV and DSR that are the standards for ad hoc networks, to study their adaptability to WSNs. NS-2 simulator was used to compare the performance of these two protocols aimed metric flows, end to end delay, and packet delivery ratios.

Keywords: Wireless sensors network, energy consumption, Routing Protocol, Evaluation of performances, AODV, DSR, Simulation, NS2.

تعد تكنولوجيا شبكة الاستشعار حاليًا مجالًا كبيرًا جدًا من الأبحاث وقد كانت موضوعًا للعديد من الدراسات في السنوات الأخيرة.

شبكات الاستشعار عبارة عن شبكات مكونة من عدد كبير من أجهزة الاستشعار التي تتعاون مع بعضها لتقديم خدمة محددة. ومع ذلك، فإن هذه الشبكات تثير مشاكل أساسية للمجتمع العلمي. المشكلة الرئيسية لهذا النوع من الشبكات هي مورد الطاقة المحدود، لذا فإن الحفاظ على الطاقة هو أحد أهم خطوط البحث من أجل زيادة عمر الخدمة للشبكة. 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. ولكن اخترنا للعمل على AODV و DSR و هي بروتوكولات صممت أساسًا للشبكات المخصصة لدراسة تأقلمها مع WSNs. تم استخدام جهاز محاكاة NS-2 لمقارنة أداء هذين البروتوكولين الموجودين لتدفق متري، والوقت من البداية إلى النهاية، ونسبة تسليم الحزمة.

الكلمات المفتاحية: شبكة أجهزة الاستشعار اللاسلكية، استهلاك الطاقة، بروتوكول التوجيه، تقييم الأداء، AODV، DSR، المحاكاة، NS2.

Liste des abréviations

ADV: ADVertissing

AODV: Ad Hoc On-Demand Distance Vector

DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency

DATA: information

DSDV: Destination-Sequenced Distance-Vector

DSN: Distributed Sensor Network

DSR: Dynamic Source Routing

FSR: Fisheye State Routing

GAF: Geographic adaptive fidelity

GEAR: geographic and energy-aware routing

GPS: Global Positioning System

HNA: Host and Network Association

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

LEACH: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

MECN: Minimum energy communication network

MID: Multiple Interface Declaration

MPRs: MultiPoint Relays

NAM: Network Animator

NS-2: Network Simulator version 2

OLSR: Optimized Link State Routing

OTCL: Object Tools Command Language

PDR: Packet Delivery Ratio

PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems

RAL: Route Acquisition Latency

RAM: Random-access memory

RCSF : Réseaux de Capteurs Sans Fil

Liste des abréviations

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

TC: Topology Control

TCL: Tool Command Language

TCP: Transfer control Protocol

UDP: User Datagram Protocol

WSN: Wireless Sensor Network

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Schéma de principe d'un RCSF	5
Figure I.2 : la différence entre l'échange en mode infrastructure et en mode ad-hoc	6
Figure I.3 : Eléments d'un capteur sans fil	7
Figure I.4: Un service militaire utilisant les RCSF	9
Figure I.5: la surveillance des bâtiments avec les RCSF.....	10
Figure I.6: utilisation des capteurs météo dans l'agriculture avec RCSF	10
Figure I.7: application des RCSF en médecine.	11
Figure I.8: utilisation des capteurs d'anti-intrusion avec RCSF.	11
Figure I.9: Capteurs utilisés dans le domaine sportif.	12
Figure I.10: Architecture de communication d'un RCSF	12
Figure I.11: Collecte d'informations à la demande	13
Figure I.12: Collecte d'informations suite à un événement	14
Figure I.13: Modèle en couches pour la communication dans les RCSF.....	15

Chapitre II

Figure II.1 : Classification des protocoles de routage selon la topologie de réseau	22
Figure II.2 : Processus de transmission de données dans SPIN.	23
Figure II.3: Les phases de communication du protocole de Diffusion dirigée.	24
Figure II.4 : Régions relais dans MECN et SMECN.	25
Figure II.5 : principe de fonctionnement d'un GAF	26
Figure II.6 : Le routage hiérarchique	26
Figure II.7: Algorithme de routage LEACH	27
Figure II.8: Exemple de fonctionnement de DSR	28

Chapitre III

Figure III.1 : Schéma de principe de l'architecture NS-2.....	38
Figure III.2 : Exemple de Fichier TCL.....	39
Figure III.3 : Exemple de Fichier Nam.	40
Figure III.4 : Création de la topologie de réseau numéro 1	42
Figure III.5 : les paramètres de simulation.....	42
Figure III.6 : les paramètres de réseaux.....	43

Liste des figures et tableaux

Figure III.7 : les paramètres de canal	43
Figure III.8 : exécution de fichier .tcl	44
Figure III.9 : résultats de l'exécution de fichier .nam	44
Figure III.10 : la deuxième topologie	45
Figure III.11 : la fichier .nam de la deuxième topologie	45
Figure III.12 : la troisième topologie	46
Figure III.13 : la fichier .nam de la troisième topologie	46
Figure III.14 : Le débit moyen.	47
Figure III.15 : Le délai de bout en bout.	48
Figure III.16 : Taux de livraison des paquets.....	49

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Comparaison entre les réseaux de capteurs et les réseaux ad hoc.	6
Tableau II.1 : les avantages et les inconvénients des différentes catégories des protocoles de routage.....	31
Tableau II.2 : Résumé et comparaison des protocoles de routages dans les réseaux de capteurs.....	32
Tableau III.1 : Composants de NS-2	37
Tableau III.2 : Les paramètres utilisé dans le scénario de simulation.....	41

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I: généralité sur les réseaux de capteurs sans fil	3
I.1 Introduction.....	4
I.2 Les réseaux de capteurs sans fil	5
I.2.1 Définition	5
I.2.2 Réseau ad hoc	5
I.2.3 comparaison entre les RCSF et les réseaux Ad-hoc	5
I.2.4 Architecture d'un nœud capteur	6
I.2.5 Caractéristiques des réseaux des capteurs sans fil	7
I.2.6 les topologies utilisées dans les réseaux de capteur sans fil	8
I.2.7 Domaines d'applications des RCSF.....	9
I.3 L'architecture des RCSF	12
I.3.1 Architecture de communication	12
I.3.2 Collecte d'informations	13
I.3.3 Architecture protocolaire.....	14
I.3.3.1 Rôle de chaque couche.....	15
I.4 Contraintes de conception des RCSF.....	16
I.5 Plates-formes.....	17
Conclusion.....	18
Chapitre II : Les protocoles de routage dans les RCSF	19
II.1 Introduction	20
II.2 Définition de routage	21
II.3 Routage dans les réseaux de capteurs sans fil	21
II.4 Les différents protocoles de routage	21
II.4.1 Les protocoles de routage « Data-centric »	22
II.4.1.1 Protocoles de capteur pour l'information par négociation (SPIN)	22
II.4.1.2 Routage par rumeur	23
II.4.1.3 Diffusion dirigée	23

Table des matières

II.4.2 Les protocoles basés sur la localisation (géographique)	24
II.4.2.1 MECN et SMECN	24
II.4.2.2 GAF	25
II.4.2.3 GEAR	26
II.4.3 Les protocoles de routage hiérarchiques	26
II.4.3.1 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy).....	27
II.4.3.2 PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)	27
II.4.4 Les protocoles non hiérarchiques.....	27
II.4.4.1 Les protocoles de routages réactifs	27
II.4.4.1.1 DSR (Dynamic Source Routing)	28
II.4.4.1.2 AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector)	28
II.4.4.2 Les protocoles de routages proactifs	29
II.4.4.2.1 DSDV	29
II.4.4.2.2 FSR.....	29
II.4.4.2.3 OLSR(Optimized Link State Routing)	29
II.5. Contraintes de routage dans les réseaux de capteurs sans fil	30
II.6. les avantages et les inconvénients de différentes catégories des protocoles de routages	30
Conclusion	33
Chapitre III : Tests et analyse des résultats	34
III.1 Introduction	35
III.2 Etudes des Protocoles AODV, DSR	36
III.2.1 Le protocole DSR	36
III.2.2 Le protocole AODV	36
III.3 Outils de simulation	37
III.3.1 NS-2 (Network Simulator version 2).....	37
III.3.2 Composants de NS-2.....	37
III.3.3 L'architecture NS-2	38
III.3.4 Les avantages et les inconvénients de simulateur NS2.....	38
III.3.5 Processus de simulation	38
1- Fichier (.tcl)	39

Table des matières

2-Fichier trace (.tr)	39
3-Le fichier NAM (.nam)	39
4. Gnuplot.....	40
5. Fichier (.scn).....	40
6. Fichier.awk.....	40
III.4 Les critères d'évaluation	40
1. Taux de livraison de paquets	40
2. Le délai de bout en bout	41
3. Le débit moyen.....	41
III.5 L'exécution de la simulation	41
III.6 Résultats de simulations	47
III.7 Discussion des résultats.....	49
Conclusion	50
Conclusion générale	51

Introduction générale

Depuis leurs créations, les réseaux de communication sans fil ont connu un succès sans cesse croissant au sein des communautés scientifiques et industrielles. Grâce à ses divers avantages, cette technologie a pu s'instaurer comme acteur incontournable dans les architectures réseaux actuelles. Le média hertzien offre en effet des propriétés uniques, qui peuvent être résumées en trois points : la facilité du déploiement, l'ubiquité de l'information et le coût réduit d'installation. Au cours de son évolution, le paradigme sans fil a vu naître diverses architectures dérivées, telles que : les réseaux cellulaires, les réseaux locaux sans fils et autres. Durant cette dernière décennie, une architecture nouvelle a vu le jour : les réseaux de capteurs sans fil.

Les réseaux de capteurs sans fil sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc, composés d'un grand nombre de capteurs matériellement petits, et placés généralement dans des environnements hostiles auxquels l'homme n'a pas toujours accès. Ces capteurs sont capables de récolter, traiter et acheminer les données environnementales de la région surveillée d'une manière autonome, vers des stations de collecte appelées nœuds puits ou stations de base. Les RCSF partagent avec les réseaux ad hoc plusieurs propriétés en commun, telles que l'absence d'infrastructure et les communications sans fil. Mais l'une des différences clés entre les deux architectures est le domaine d'application.

Notre travail entre dans le cadre de l'étude des performances des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fils. Un protocole de routage permet l'acheminement des informations au sein du réseau avec l'envoi des messages entre nœuds capteurs pour la collecte du phénomène. Ce qui s'avère coûteux en énergie qui engendre l'épuisement de la batterie. Encore plus la perte des données et la diminution de vie de réseau.

Vu les limitations des réseaux de capteurs, la construction des routes doit être faite avec un minimum de contrôle et de consommation de la bande passante. Il est important de minimiser à la fois les délais d'acheminement et les pertes des messages échangés entre les nœuds. Dans ce contexte, le réseau doit être robuste et avoir un temps d'attente très court et doit pouvoir transférer rapidement les messages.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les principaux protocoles de routage dans les RCSFs. Les principaux problèmes dans les réseaux de capteurs sans fil ou les WSNs « *Wireless Sensor Networks* » sont le protocole de routage, l'énergie consommée par le nœud, la sécurité, l'agrégation de données, la mobilité imprévisible des nœuds, etc. Ces capteurs sont parfois déployés dans des zones hostiles. Il est donc nécessaire d'avoir une stratégie efficace qui prend en considération l'énergie du réseau pour augmenter sa durée de vie en réduisant la perte d'énergie tout en étant réactive aux changements de l'environnement.

Les progrès récents dans les réseaux de capteurs sans fil ont conduit au développement de nombreux protocoles spécifiquement conçus pour les réseaux de capteurs où la présentation de l'énergie est un facteur essentiel. Les techniques conçues pour les réseaux ad hoc traditionnels ne sont pas bien adaptées aux réseaux de capteurs. De nombreuses contraintes doivent être résolues pour les réseaux de capteurs sans fil. Nous nous intéressons, dans ce mémoire, aux contraintes posées par le routage dans ce type de réseaux pour prolonger la durée de vie de ces réseaux.

Introduction Générale

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Dans **le premier chapitre** une présentation générale de réseaux de capteurs sans-fil, leurs domaines d'applications, leur architecture et les contraintes sont illustrées.

Dans **le deuxième chapitre**, nous traitons le routage dans les réseaux de capteurs sans-fil, on présentera un état de l'art sur les protocoles de routage dans les RCSFs avec leurs classifications. A la fin de ce chapitre, nous présenterons une étude comparative entre les caractéristiques des protocoles étudiés.

Dans **le troisième chapitre**, nous simulons les protocoles AODV et DSR sous l'outil de simulation NS2 afin d'évaluer leurs performances.

Nous concluons notre travail par une conclusion générale qui résume nos contributions et les perspectives envisageables.

Chapitre I:

Généralité sur les

réseaux de capteurs

sans fil

I.1 Introduction

L'apparition des nouvelles technologies ainsi que les progrès effectués dans le domaine des réseaux et du traitement de l'information ont entraîné l'apparition de nouveaux outils et objets tels que les réseaux de capteurs et leurs applications. Depuis quelques années, les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) s'ouvrent à plusieurs domaines d'applications : militaire, sécurité, transport, industriel, environnement, etc. L'environnement intègre de plus en plus des capteurs pour le contrôle, la commande ou la surveillance des lieux ou des systèmes.

Les RCSF constituent une catégorie de réseau sans fil comportant un très grand nombre des nœuds, ils sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc. Les nœuds de ce type de réseaux consistent en un grand nombre de micro capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome.

L'objectif de ce chapitre est de donner d'abord une vue générale sur les réseaux de capteurs sans fil, en présentant leurs domaines d'application, leurs architectures, leurs caractéristiques et contraintes, et les technologies utilisées.

L'objectif de ce chapitre est de donner d'abord une vue générale sur les réseaux de capteurs sans fil, en présentant leurs domaines d'application, leurs architectures, leurs caractéristiques et contraintes, et les technologies utilisées, cette description nous permet de connaître la particularité des protocoles de routage conçus pour ce type de réseaux

I.2 Les réseaux de capteurs sans fil

I.2.1 Définition

Un réseau de capteurs sans fil ou WSN est un réseau ad hoc avec un grand nombre de *nœuds* qui sont des micros capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée. Ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une zone géographique, appelée « champ de captage » correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté. [1]

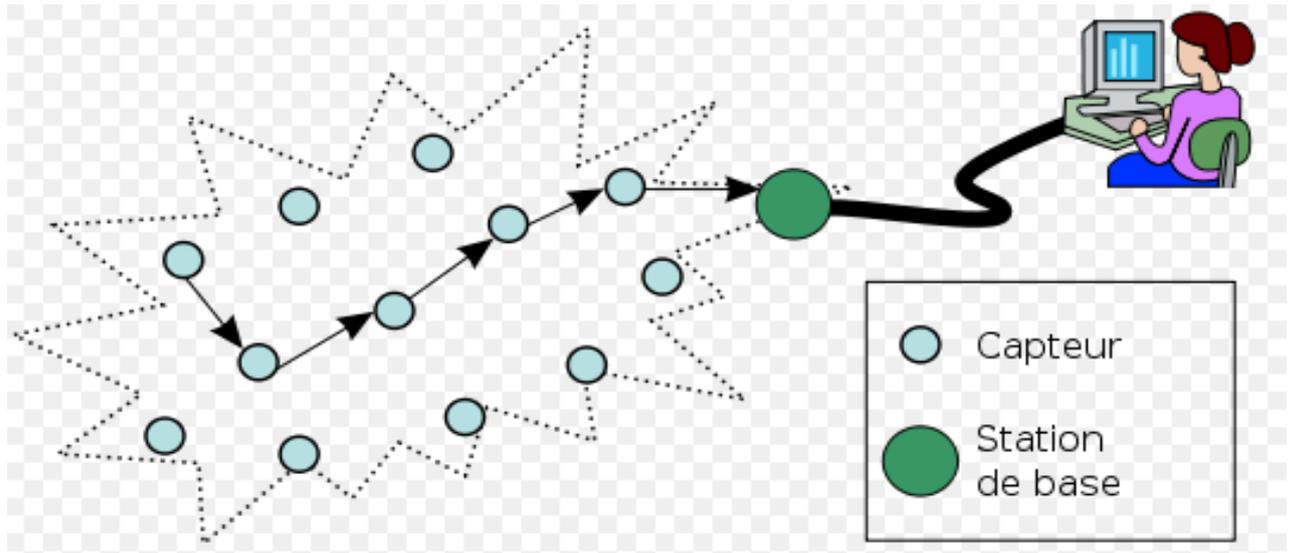


Figure I.1 : Schéma de principe d'un RCSF [1]

I.2.2 Réseau ad hoc

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans fil capables de s'organiser sans infrastructure définie préalablement. Par exemple d'un équipement à un autre (ou d'un nœud à un autre dans RCSF) sans infrastructure (point d'accès).

Chaque entité (nœud) communique directement avec sa voisine. Pour communiquer avec d'autres entités, il lui est nécessaire de faire passer ses données par d'autres qui se chargeront de les acheminer. Pour cela, il est d'abord primordial que les entités se situent les unes par rapport aux autres, et soient capables de construire des routes entre elles : c'est le rôle du protocole de routage. [4]

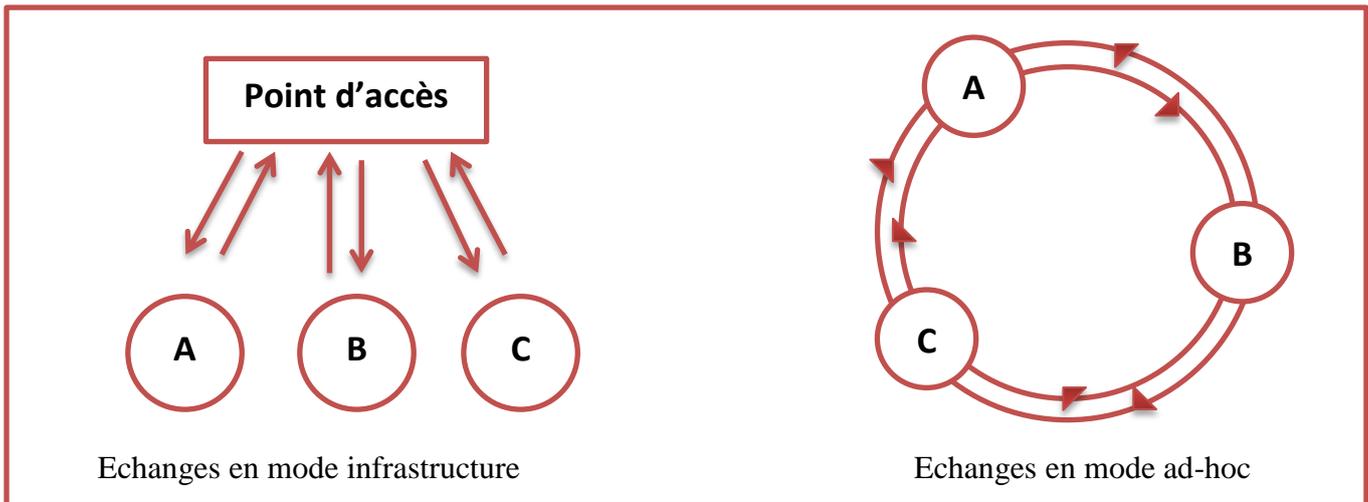


Figure I.2 : la différence entre l'échange en mode infrastructure et en mode ad-hoc

I.2.3 comparaison entre les RCSF et les réseaux Ad-hoc

Le tableau I.1 présente une comparaison entre les réseaux de capteurs et les réseaux ad hoc

Capteurs	Ad-hoc
Objectif ciblé	Générique/ communication
Les nœuds collaborent pour remplir un objectif	Chaque nœud a son propre objectif
Flot «Any-to-many»	Flot de données «many-to-one»
Energie est un facteur déterminant	Débit est un majeur
Utilisation du broadcast	Communication point à point

Tableau I.1 : Comparaison entre les réseaux de capteurs et les réseaux ad hoc. [5]

I.2.4 Architecture d'un nœud capteur

Les capteurs sont des dispositifs de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capables de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité (capteurs, unité de traitement...) sur une distance limitée à quelques mètres. [3]

Il peut contenir également, suivant son domaine d'application, des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire).

Les réseaux de capteurs utilisent un très grand nombre de ces capteurs, pour former un réseau sans infrastructure établie. Un capteur analyse son environnement, et propage les données récoltées aux capteurs appartenant à sa zone de couverture. Chaque capteur relayant l'information sur sa propre zone de couverture [3]

Un nœud capteur contient quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie chacune a un rôle bien déterminé comme s'est illustré par la figure I.2.

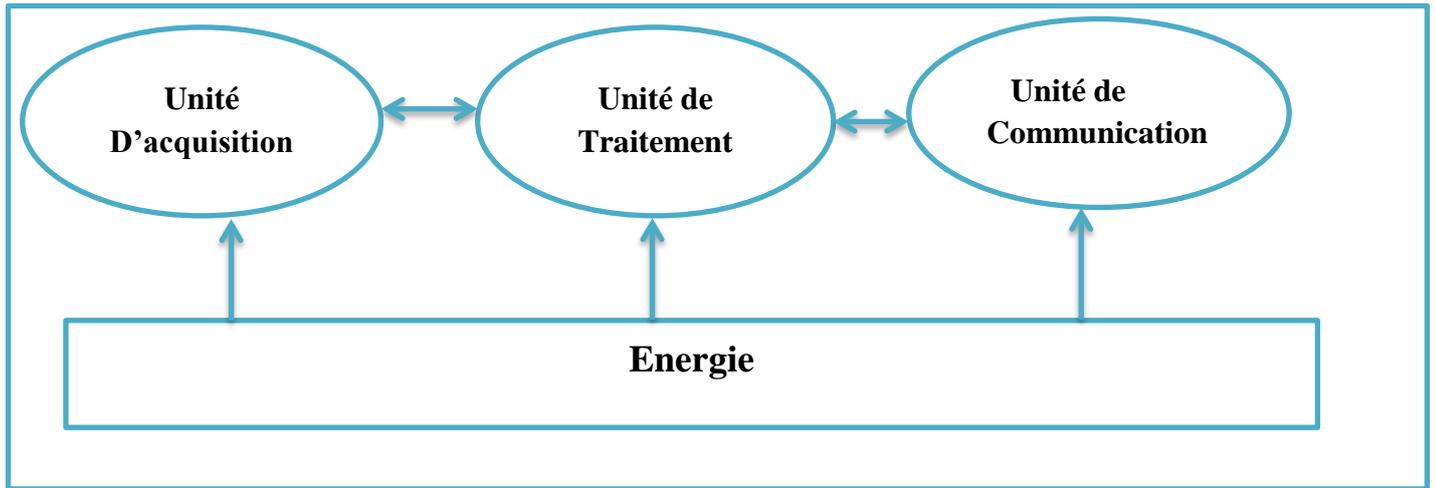


Figure I.3 : Éléments d'un capteur sans fil

L'unité d'acquisition : l'unité d'acquisition est composée d'un ensemble des capteurs et des convertisseurs analogiques numériques. Le capteur est généralement composé de deux sous-unités : le récepteur (reconnaissant l'analyste) et le transducteur (convertissant le signal du récepteur en signal électrique), le capteur va obtenir des mesures numériques sur les paramètres environnementaux et d'un convertisseur analogique/numérique qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement. [2]

L'unité de traitement : l'unité de traitement est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de communication. Cette unité est également composée d'un processeur et d'un système d'exploitation spécifique. On appelle généralement *Mote* la carte physique utilisant le système d'exploitation pour fonctionner. Celle-ci a pour cœur le bloc constitué du processeur et des mémoires RAM et Flash. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de communication. [2]

L'unité de communication (transmission): l'unité de transmission est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio. Les équipements utilisés sont donc généralement équipés d'une radio ainsi que d'une antenne. [2]

L'unité de contrôle d'énergie: une ressource énergétique (généralement une batterie) pour alimenter les unités citées précédemment. [2]

I.2.5 caractéristiques des réseaux des capteurs sans fil

Un réseau de capteurs présente des caractéristiques particulières comparativement aux autres réseaux sans fil. Ces réseaux sont caractérisés par :

- **Sans infrastructure** : Les RCSF appartiennent à la famille des réseaux sans fil sans infrastructure dite ad-hoc de type *many-to-one*. Les capteurs sont généralement déployés aléatoirement dans des zones hostiles ce que nécessite qu'ils doivent s'autoconfigurer et s'auto-organiser sans intervention humaine. [7]

- **Un grand nombre de capteurs**: Dans les RCSF, les capteurs sont déployés généralement en grand nombre pour garantir la couverture totale de la zone d'intérêt et faire

face aux pannes puisque les capteurs peuvent cesser de fonctionner pour différentes causes. Nous pouvons avoir dans certains cas des RCSF de haute densité dont la taille dépasse mille capteurs voire un million de capteurs. [7]

- **Interférences** : La notion d'interférences apparaît dans la plupart des réseaux sans fil en particulier dans les RCSF où deux capteurs voisins peuvent transmettre dans le même bond de fréquences ce qui peut causer des interférences. [7]

- **Topologie dynamique** : les capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent d'une façon libre et arbitraire rendant ainsi, la topologie du réseau fréquemment changeante. Ce type de scénario génère une topologie qui n'est pas statique dite dynamique. [7]

- **Contrainte d'énergie, de stockage et de calcul** : La caractéristique la plus critique dans les RCSF c'est la limite des ressources énergétiques, car la plupart des capteurs sont dotés de piles à énergie limitée. Dans ce cas la durée de vie du nœud peut être déterminée par la vie de la pile, ce qui exige la minimisation des dépenses énergétiques. [7]

-**Auto organisation du réseau** : Ceci peut être nécessaire dans plusieurs cas. Par exemple, un réseau comportant un grand nombre de nœuds placés dans des endroits hostiles où la configuration manuelle n'est pas faisable, doit être capable de s'auto organiser. Un autre cas est celui où un nœud est inséré ou retiré (à cause d'un manque d'énergie ou de destruction physique), ainsi le réseau doit être capable de se reconfigurer pour continuer sa fonction.

I.2.6 les topologies utilisées dans les réseaux de capteur sans fil :

La topologie en étoile :

Dans cette topologie une station de base peut envoyer ou recevoir un message à un certain nombre de nœuds. Ces nœuds peuvent seulement envoyer ou recevoir un message de l'unique station de base, il ne leur est pas permis de s'échanger des messages.

L'avantage de cette topologie est sa simplicité, faible consommation d'énergie des nœuds, et moindre latence de communication entre les nœuds et la station de base. Son inconvénient est que la station de base est vulnérable, car tout le réseau est géré par un seul nœud. [1]

La topologie en grille (*Mesh Network*):

Dans ce type de topologie tout nœud peut échanger avec n'importe quel autre nœud du réseau (s'il est à portée de transmission) dit « communication multisaut » .et aussi si un nœud veut transmettre un message à un autre nœud hors de sa portée de transmission peut utiliser un nœud intermédiaire pour envoyer son message au nœud destinataire. L'avantage de cette topologie est la possibilité du passage à l'échelle, la redondance et la tolérance aux fautes. L'inconvénient de cette topologie est la consommation d'énergie plus importante est induite par la communication multisauts. Une latence est créée par le passage des messages des nœuds par plusieurs autres avant d'arriver à la station de base. [1]

Cette topologie serait en théorie la meilleure qui soit, chaque nœud n'étant relié à chaque autre par un lien direct. Mais dans la pratique elle serait aussi la plus chère.

La topologie hybride

Une topologie hybride entre celle en étoile et en grille fournit des communications réseau robustes et diverses, en assurant la minimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs. Dans ce type de topologie, les nœuds capteurs autonomes en énergie ne

roulent pas les messages, mais il y a d'autres nœuds qui ont la possibilité de faire le routage des messages. En général, ces nœuds disposent d'une source d'énergie externe. [1]

I.2.7 Domaines d'applications des RCSF

Le réseau de capteurs sans fil est l'une des dix nouvelles technologies qui bouleverseront le monde et notre manière de vivre et de travailler. La diminution de taille et de coût des micros capteurs, l'élargissement de la gamme des types de capteurs disponibles (thermique, optique, vibrations...) et l'évolution des supports de communication sans fil, ont élargi le champ d'application des réseaux de capteurs. Il répond à l'émergence ces dernières décennies, de l'offre et d'un besoin accru d'observation diffuse et automatique et de contrôle de phénomènes physiques et biologiques complexes, dans différents domaines :

Applications militaires

Le déploiement rapide, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes sont des caractéristiques qui ont rendu les réseaux de capteurs efficaces pour les applications militaires. Plusieurs projets ont été lancés pour aider les unités militaires dans un champ de bataille et protéger les villes contre des attaques, telles que les menaces terroristes. Des tests concluants ont déjà été réalisés dans ce domaine par l'armée américaine dans le désert de Californie. Le projet DSN (*Distributed Sensor Network*) au DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) était l'un des premiers projets dans les années 80 ayant utilisé les réseaux de capteurs pour rassembler des données distribuées. Un réseau de capteurs peut être déployé dans un endroit stratégique ou hostile, afin de surveiller les mouvements des forces ennemies, ou analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'intrusions, détection des armes chimiques, biologiques ou radiations nucléaires). [8]



Figure I.4 : Un service militaire utilisant les RCSF

- Application à la surveillance :

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de sécurité peut diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et des êtres humains. Ainsi, l'intégration des capteurs dans de grandes structures telles que les ponts ou les bâtiments aidera à détecter les fissures et les altérations dans la structure suite à un séisme ou au vieillissement de la structure. Le déploiement d'un réseau de capteurs de mouvement peut constituer un système d'alarme qui servira à détecter les intrusions dans une zone de surveillance sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo. [8]



Figure I.5 : la surveillance des bâtiments avec les RCSF

- **Application environnementale** : Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les changements environnementaux. Ils servent à déterminer les valeurs de certains paramètres à un endroit donné, par exemple : la température, la pression atmosphérique, etc. En dispersant des nœuds capteurs dans la nature, on peut détecter des événements tels que des feux de forêt, des tempêtes ou des inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours. Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés pour réagir convenablement aux changements climatiques, par exemple en déclenchant le processus d'arrosage lors de la détection de zones sèches dans un champ agricole. [8]

On peut aussi imaginer équiper des troupeaux de bétail de capteurs pour connaître en tout temps, leur position ce qui éviterait aux éleveurs d'avoir recours à des chiens de berger.



Figure I.6 : utilisation des capteurs météo dans l'agriculture avec RCSF

- **Applications médicales** : Dans le domaine de la médecine, les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour assurer une surveillance permanente des organes vitaux de l'être humain grâce à des microcapteurs qui pourront être avalés ou implantés sous la peau (surveillance de la glycémie, détection de cancers, etc.). Ils peuvent aussi faciliter le diagnostic de quelques maladies en effectuant des mesures physiologiques telles que : la tension artérielle, battements du cœur, à l'aide des capteurs ayant chacun une tâche bien particulière. Les données physiologiques collectées par les capteurs peuvent être stockées pendant une longue durée pour le suivi d'un patient pour une ultérieure décision médicale. [8]

Chapitre I: généralité sur les réseaux de capteurs sans fil

Donc on peut ainsi surveiller la progression d'une maladie.

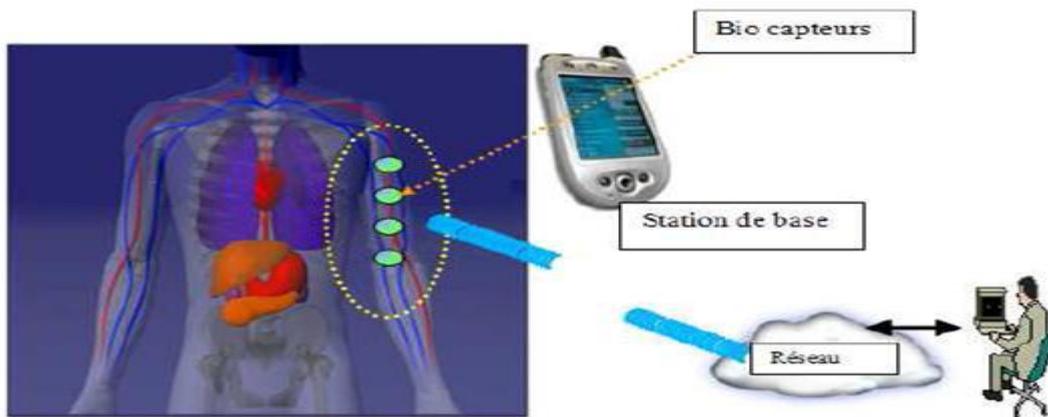


Figure I.7 : application des RCSF en médecine.

- **La domotique** : Le déploiement des capteurs de mouvement et de température dans les futures maisons dites intelligentes permet d'automatiser plusieurs opérations domestiques telles que : la lumière qui s'éteint et la musique qui se met en état d'arrêt quand la chambre est vide, la climatisation et le chauffage s'ajustent selon les points multiples de mesure, le déclenchement d'une alarme par le capteur anti-intrusion quand un intrus veut accéder à la maison. [8]



Figure I.8 : utilisation des capteurs d'anti-intrusion avec RCSF.

- **Applications commerciales** : Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. Il devient alors possible pour un client qui attend la réception d'un paquet d'avoir un avis de livraison en temps réel et de connaître la position actuelle du paquet. Pour les entreprises manufacturières, les réseaux de capteurs permettront de suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré. Grâce aux réseaux de capteurs, les entreprises pourraient offrir une meilleure qualité de service tout en réduisant leurs coûts. [8]

- **Applications dans le domaine sportif** : L'évolution des réseaux de capteurs est utilisée de plus en plus dans le domaine sportif, à savoir les systèmes de surveillance, les systèmes de calcul de trajectoires (comme dans le tennis), systèmes de détection d'erreurs d'arbitrage (comme dans le football indiquent si le ballon a franchi la ligne de but). [2]



Figure I.9 : Capteurs utilisés dans le domaine sportif.

I.3 L'architecture des RCSF

Les récentes avancées dans les domaines des technologies sans-fil et électroniques ont permis le développement à faible coût de minuscules capteurs consommant peu d'énergie. Ces capteurs ont 3 fonctions :

- Capturer des données (de type son, vibration, lumière...)
- Calculer des informations à l'aide de ces valeurs collectées
- Les communiquer à travers un réseau de capteurs

I.3.1 Architecture de communication

Les RCSF sont composés d'un ensemble de nœuds capteurs. Ces nœuds capteurs sont organisés en champ « *sensor fields* » (voir la figure suivante). Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter des données et de les transférer au nœud passerelle (dit « *sink* » en anglais ou puits) par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le puits transmet ensuite ces données par internet ou par satellite à l'ordinateur central pour analyser ces données et prendre des décisions. [9]

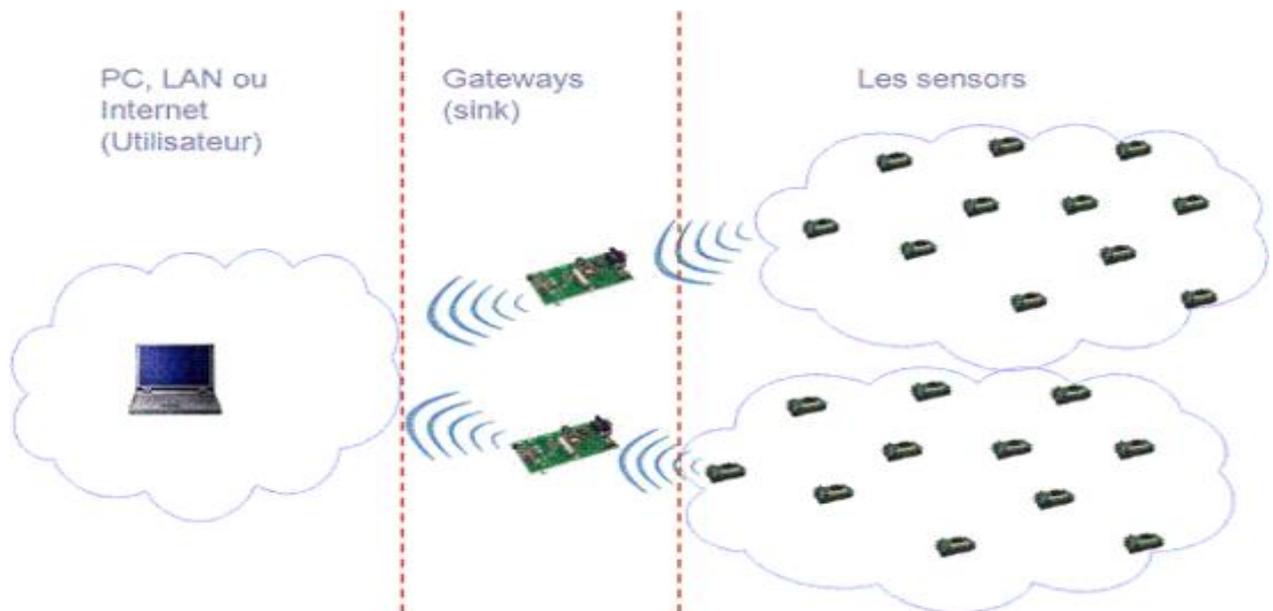


Figure I.10 : Architecture de communication d'un RCSF [9]

I.3.2 Collecte d'informations

Il y a deux méthodes pour collecter les informations d'un réseau de capteurs.

À la demande :

Lorsque l'on souhaite avoir l'état de la zone de couverture à un moment T, le puits émet des broadcasts vers toute la zone pour que les capteurs remontent leur dernier relevé vers le puits. Les informations sont alors acheminées par le biais d'une communication multisauts. La figure suivante explique ce mode de communication. [6]

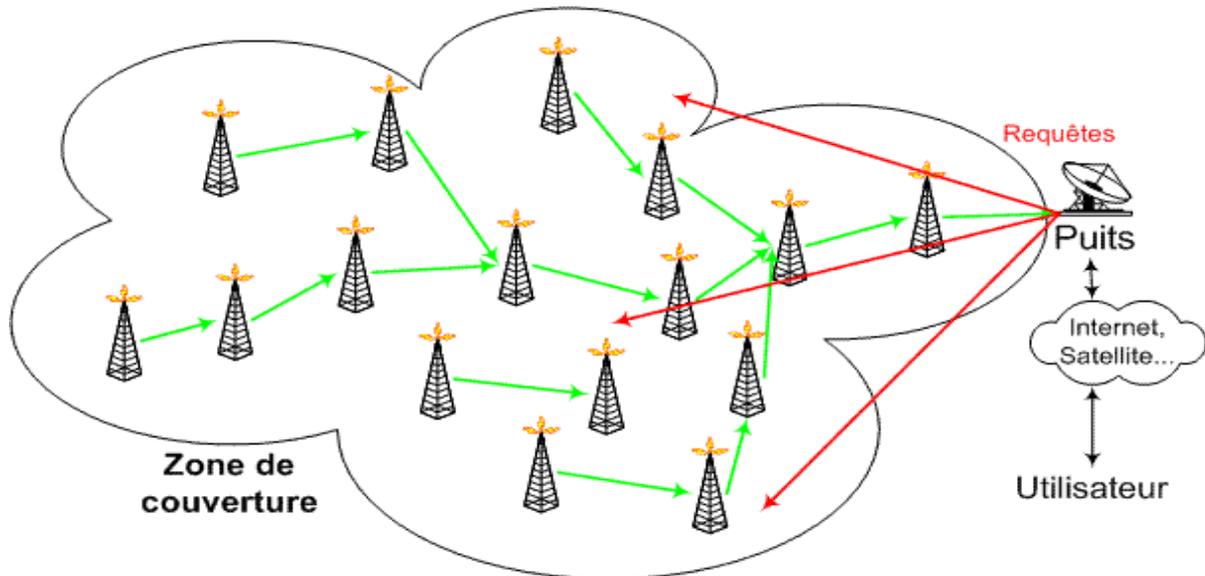


Figure I.11: Collecte d'informations à la demande [6]

-Suite à un événement

Lorsqu'un événement se produit en un point de la zone de couverture (changement brusque de température, mouvement...), les capteurs situés à proximité remontent alors les informations relevées et les acheminent jusqu'au puits. La figure suivante explique ce mode de communication. [6]

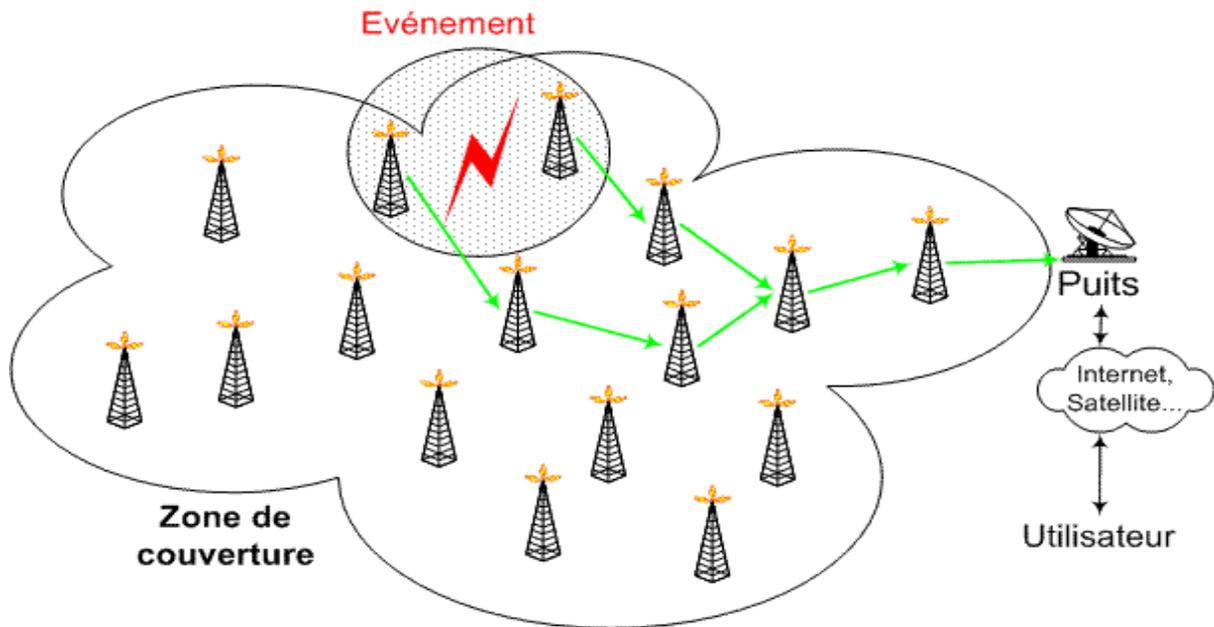


Figure I.12: Collecte d'informations suite à un événement [6]

I.3.3 Architecture protocolaire :

Modèle en couches

Le rôle de ce modèle consiste à standardiser la communication entre les composants du réseau afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles. Ce modèle comprend 5 couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI ainsi que 3 couches pour la gestion de la puissance d'énergie, la gestion de la mobilité ainsi que la gestion des tâches (interrogation du réseau de capteurs). Le but d'un système en couches est de séparer le problème en différentes parties (les couches) selon leur niveau d'abstraction. Chaque couche du modèle communique avec une couche adjacente (celle du dessus ou celle du dessous). Chaque couche utilise ainsi les services des couches inférieures et en fournit à celle de niveau supérieur. [11]

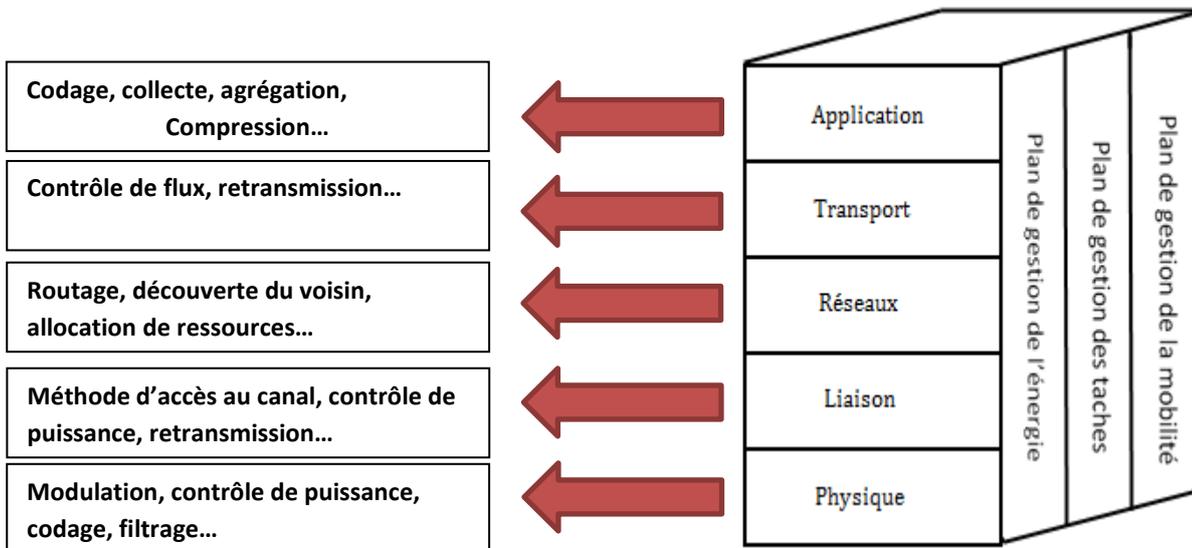


Figure I.13: Modèle en couches pour la communication dans les RCSF

I.3.3.1 Rôle de chaque couche

-la couche physique : Spécifications des caractéristiques matérielles, des fréquences porteuses, etc... [11]

-La couche liaison : Spécifie comment les données sont expédiées entre deux nœuds/routeurs dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au média... Elle assure la liaison point à point et multipoint dans un réseau de communication. [11]

-la couche réseau : Dans la couche réseau, le but principal est de trouver une route et une transmission fiable des données, captées, des nœuds capteurs vers le puits "sink" en optimisant l'utilisation de l'énergie des capteurs. Ce routage diffère de celui des réseaux de transmission ad hoc sans fils par les caractéristiques suivantes:

- il n'est pas possible d'établir un système d'adressage global pour le grand nombre de nœuds.
- Les applications des réseaux de capteurs exigent l'écoulement des données mesurées de sources multiples à un puits particulier.
- Les multiples capteurs peuvent produire de mêmes données à proximité d'un phénomène (redondance).
- Les nœuds capteur exigent ainsi une gestion soignée des ressources.

En raison de ces différences, plusieurs nouveaux algorithmes ont été proposés pour le problème de routage dans les réseaux de capteurs [9]

-La couche transport : Cette couche est chargée du transport des données, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission. [11]

-la couche application : Cette couche assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels. [11]

Plans de gestion

Les plans de gestion d'énergie, de mobilité et de tâche contrôlent l'énergie, le mouvement et la distribution de tâche au sein d'un nœud capteur. Ces plans aident les nœuds capteurs à coordonner la tâche de captage et minimiser la consommation d'énergie. Ils sont donc nécessaires pour que les nœuds capteurs puissent collaborer ensemble, acheminer les données dans un réseau mobile et partager les ressources entre eux en utilisant efficacement l'énergie disponible. Ainsi, le réseau peut prolonger sa durée de vie. [11]

Plan de gestion d'énergie : contrôle l'utilisation de la batterie. Par exemple, après la réception d'un message, le capteur éteint son récepteur afin d'éviter la duplication des messages déjà reçus. En outre, si le niveau d'énergie devient bas, le nœud diffuse à ses voisins une alerte les informant qu'il ne peut pas participer au routage. L'énergie restante est réservée au captage. [11]

Plan de gestion de mobilité : détecte et enregistre le mouvement du nœud capteur. Ainsi, un retour arrière vers l'utilisateur est toujours maintenu et le nœud peut garder trace de ses nœuds voisins. En déterminant leurs voisins, les nœuds capteurs peuvent balancer l'utilisation de leur énergie et la réalisation de tâche. [11]

Plan de gestion de tâche : balance et ordonnance les différentes tâches de captage de données dans une région spécifique. Il n'est pas nécessaire que tous les nœuds de cette région effectuent la tâche de captage au même temps ; certains nœuds exécutent cette tâche plus que d'autres selon leur niveau de batterie. [11]

I.4 Contraintes de conception des RCSF

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

La tolérance de fautes : Certains nœuds peuvent générer des erreurs ou ne plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, un problème physique ou une interférence. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau, c'est le principe de la tolérance de fautes. La tolérance de fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruption due à une erreur intervenue sur un ou plusieurs capteurs. [10]

L'échelle : Le nombre de nœuds déployés pour un projet peut atteindre le million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter nodal et nécessite que le puits "sink" soit équipé de beaucoup de mémoire pour stocker les informations reçues. [10]

Les coûts de production : Souvent, les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel. Actuellement un nœud ne coûte souvent pas beaucoup plus que 1\$. À titre de comparaison, un nœud Bluetooth, pourtant déjà connu pour être un système low-cost, revient environ à 10\$. [10]

L'environnement : Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille au-delà des lignes ennemies, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés... Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées. [10]

La topologie de réseau : Le déploiement d'un grand nombre de nœuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases : Déploiement, post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner...), Redéploiement de nœuds additionnels. [10]

Les 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. [10]

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. [10]

La consommation d'énergie : Un capteur, de par sa taille, est limité en énergie ($< 1.2V$). Dans la plupart des cas le remplacement de la batterie est impossible. Ce qui veut dire que la durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs (multisauts) chaque nœud collecte des données et envoie/transmet des valeurs. Le dysfonctionnement de quelques nœuds nécessite un changement de la topologie du réseau et un reroutage des paquets. Toutes ces opérations sont gourmandes en énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation. [10]

I.5 Plates-formes

Parmi les standards les plus aptes à être exploités dans les réseaux de capteurs sans-fil se retrouvent la double pile protocolaire Bluetooth / ZigBee.

Le Bluetooth: a été standardisé sous la norme IEEE 802.15.1 et a comme but la création et le maintien de réseaux à portée personnelle, PAN (*Personal Area Network*). Un tel réseau est utilisé pour le transfert de données à bas débit à faible distance entre appareils compatibles. Malheureusement, le grand défaut de cette technique est sa trop grande consommation d'énergie et ne peut donc pas être utilisé par des capteurs qui sont alimentés par une batterie et qui idéalement devraient fonctionner durant plusieurs années. [1]

Le ZigBee : combiné avec IEEE 802.15.4 offre des caractéristiques répondant encore mieux aux besoins des réseaux de capteurs en termes d'économies d'énergie. ZigBee offre des débits de données moindres, mais il consomme également nettement moins que Bluetooth. Un faible débit de données n'est pas un handicap pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission sont faibles. [1]

| Chapitre I: généralité sur les réseaux de capteurs sans fil

Les constructeurs tendent à employer des « techniques propriétaires » ayant l'avantage d'être spécifiquement optimisées pour une utilisation précise, mais avec l'inconvénient de ne pas être compatibles entre elles. [1]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux des capteurs sans fil, leurs architectures de communication, la pile protocolaire des capteurs et leurs diverses applications. Cependant, nous avons remarqué que plusieurs facteurs et contraintes compliquent la gestion de ce type de réseaux.

Malheureusement, les RCSF ne sont pas parfaits à cause de leur faible coût et leur déploiement dans des zones parfois hostiles.

Le chapitre suivant sera dédié à la présentation des protocoles de routage dans les RCSF, leurs classifications ainsi que des détails sur le fonctionnement de certains protocoles.

Chapitre II:

Les protocoles de

routage dans les

réseaux de capteurs

sans fil

II.1 Introduction

Les protocoles de routage pour les réseaux de capteurs sans fil ont été largement étudiés, et différentes études ont été publiées. Ces protocoles doivent garantir l'acheminement de l'information entre tout nœud du réseau et la station de base à moindre coût en termes d'énergie. Dans les réseaux de capteurs, chaque nœud joue le rôle de source et de relais. De ce fait, la défaillance énergétique d'un capteur peut changer significativement la topologie du réseau donc il faut minimiser les dépenses énergétiques, car l'énergie est une contrainte clé dans les réseaux de capteurs.

L'objectif de ce chapitre est de présenter quelques approches et techniques sur lesquelles se basent les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs, on effectue une comparaison entre ces protocoles.

II.2 Définition de 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. Sa performance est importante dans les réseaux décentralisés, c'est-à-dire où l'information n'est pas distribuée par une seule source, mais échangée entre des agents indépendants.

II.3 Routage dans les réseaux de capteurs sans fil

La propagation et la délivrance des données dans un RCSF représentent la fonctionnalité la plus importante du réseau. Elle doit prendre en considération 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 un acheminement optimal des paquets à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance. Le problème consiste à trouver l'investissement de moindre coût en capacités nominales et de réserves qui assure le routage du trafic nominal et garantit sa survie en cas de n'importe quelle panne d'arc ou de nœud. Le problème qui se pose dans le contexte des réseaux ad hoc est l'adaptation de la méthode d'acheminement utilisée avec le grand nombre d'unités existant dans un environnement caractérisé par de modestes capacités de calcul et de sauvegarde et de changements rapides de topologies. Il semble donc important que toute conception de protocole de routage doive étudier les problèmes suivants :

1. La minimisation de la charge du réseau
2. Offrir un support pour pouvoir effectuer des communications multipoints fiables
3. Assurer un routage optimal
4. Offrir une bonne qualité concernant le temps de latence [12]

II.4 Les différents protocoles de routage :

Avant d'entamer la phase de conception d'une technique de routage efficace en énergie, il est nécessaire d'apporter une étude minutieuse des principaux protocoles de routages utilisés dans les RCSFs. Suivant la manière de création et de maintenance de routes lors de l'acheminement des données, les protocoles de routage peuvent être séparés en quatre catégories: les protocoles de routages « *data centric* », hiérarchiques, non hiérarchiques et basés sur la localisation. La figure suivante représente les différents protocoles de routage :

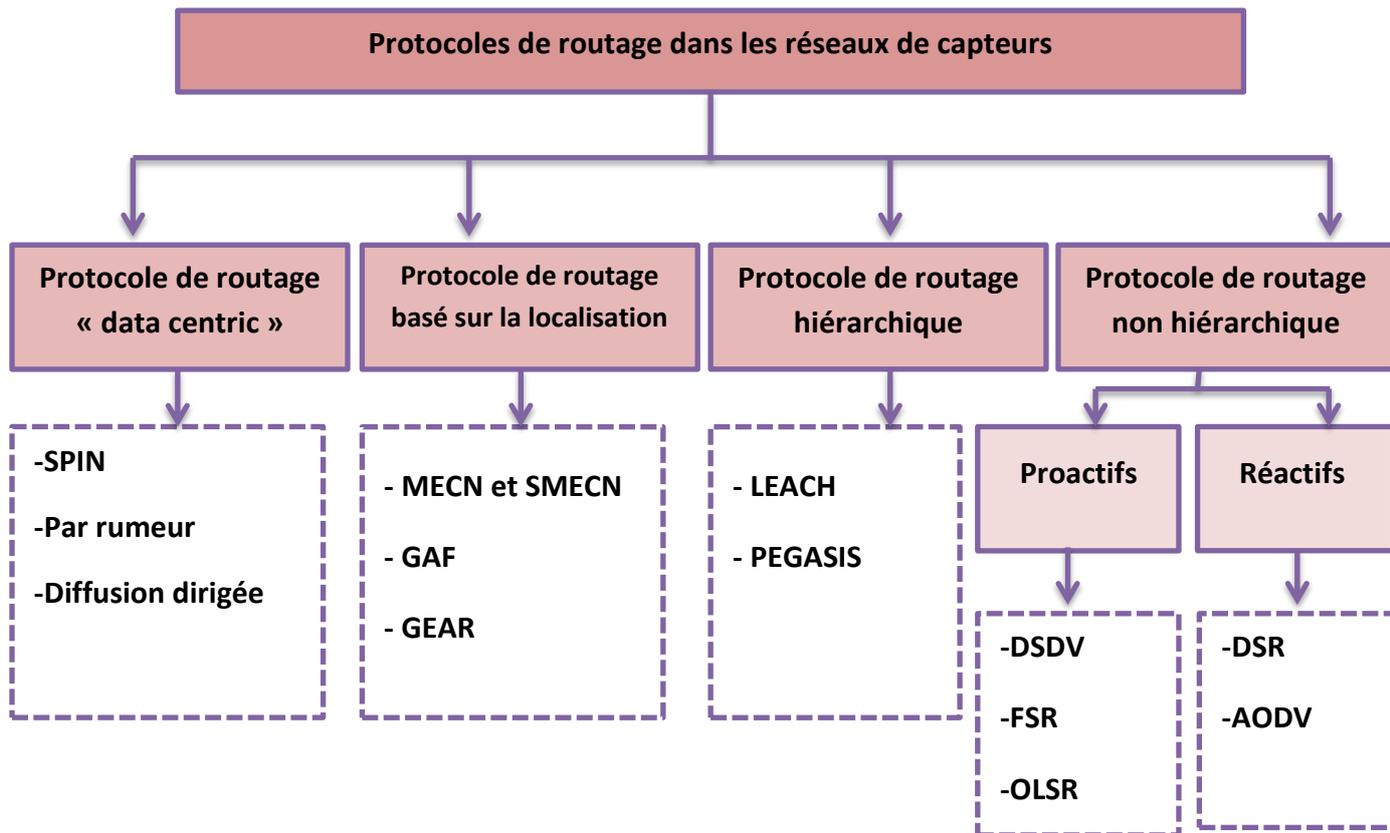


Figure II .1: Classification des protocoles de routage selon la topologie de réseau

II.4.1 Les protocoles de routage « *Data-centric* »

Ces protocoles communiquent sans avoir d'adresses ou d'identifiant. La communication s'effectue à travers certaines régions, de proche en proche à travers le réseau. En général, pour effectuer une transmission de données, la source envoie sur le réseau une annonce de donnée à transmettre avant l'envoi des données puis les voisins étant intéressés par l'annonce envoient une requête d'obtention des données, une fois toutes les requêtes reçues à ce moment les données sont envoyées. [12]

On peut citer comme exemple:

II.4.1.1 Protocoles de capteur pour l'information par négociation (SPIN)

SPIN est synonyme de protocole de capteur pour l'information via la négociation. Il y a une famille de protocoles appelée SPIN; ils viennent dans différentes saveurs et caractéristiques. L'idée derrière le SPIN est de nommer les données en utilisant des descripteurs de haut niveau ou des méta données. Avant la transmission, les méta- données sont échangées entre les capteurs par un mécanisme de publicité de données. Chaque nœud recevant de nouvelles données, l'annonce à ses voisins et ceux intéressés récupèrent les données en envoyant une requête .

SPIN utilise trois types de messages, ADV, REQ et DATA. Le message ADV est diffusé par un nœud qui a des données. Ce message est diffusé par le nœud. Ce message indiquera le type

de données contenues dans le nœud publicitaire. Les nœuds intéressés qui ont reçu le message ADV envoient un message REQ demandant les données. Le nœud ayant les données envoie les données aux nœuds intéressés. Les nœuds après réception des données envoient un message ADV, et le processus se poursuit. Cela peut être vu dans la figure ci-dessous. Protocole SPIN. [13]

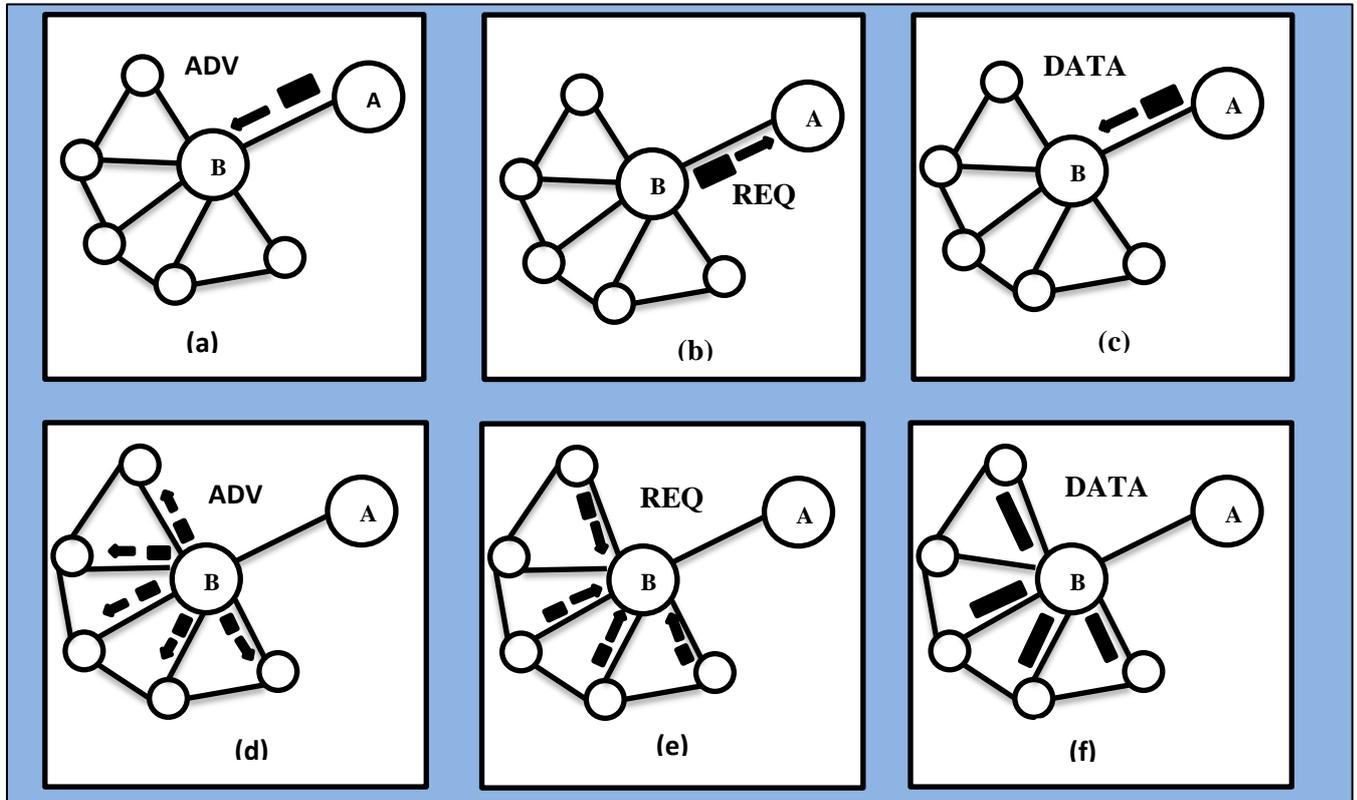


Figure II.2 : Processus de transmission de données dans SPIN

II.4.1.2 Routage par rumeur :

L'idée est de transmettre les requêtes aux nœuds qui ont observé un événement particulier. Quand un nœud détecte un événement, il l'ajoute à sa table locale et génère un agent. L'agent parcourt le réseau afin de propager des informations sur les événements locaux aux nœuds distants. Quand un nœud génère une requête pour un événement, les nœuds qui connaissent l'itinéraire peuvent répondre en référant la table d'événements. [14]

II.4.1.3 Diffusion dirigée:

La diffusion dirigée est un protocole important dans le routage data-centric des réseaux de capteurs. L'idée vise à diffuser des données aux nœuds en utilisant un schéma de nommage pour les données. La raison principale derrière l'utilisation d'un tel système est de se débarrasser des opérations inutiles de routage de couche réseau afin d'économiser l'énergie. La diffusion dirigée suggère l'utilisation de paires attribut-valeur pour les données et les requêtes des capteurs. Afin de créer une requête, un nœud est défini à l'aide d'une liste de paires attribut-valeur comme le nom des objets, l'intervalle, la durée, la zone géographique, etc. Un paquet est diffusé par ce nœud vers la destination à travers ses voisins. Chaque nœud qui reçoit les paquets peut les stocker pour une utilisation ultérieure. Les paquets stockés sont

ensuite utilisés pour comparer les données reçues. La requête contient aussi plusieurs champs de gradient. Un gradient est un lien réponse avec un voisin dont le paquet a été reçu et qui est caractérisé par le débit, la durée et la date d'expiration de données. Ainsi, en utilisant les intérêts et les gradients, les routes sont établies entre la destination et les sources. Plusieurs routes peuvent être établies de telle sorte que l'une d'elle est choisie par renforcement. La destination renvoie le message d'intérêt initial à travers la route choisie. Un intervalle plus petit renforce donc le nœud source sur ce chemin pour envoyer des données plus fréquemment. [15]

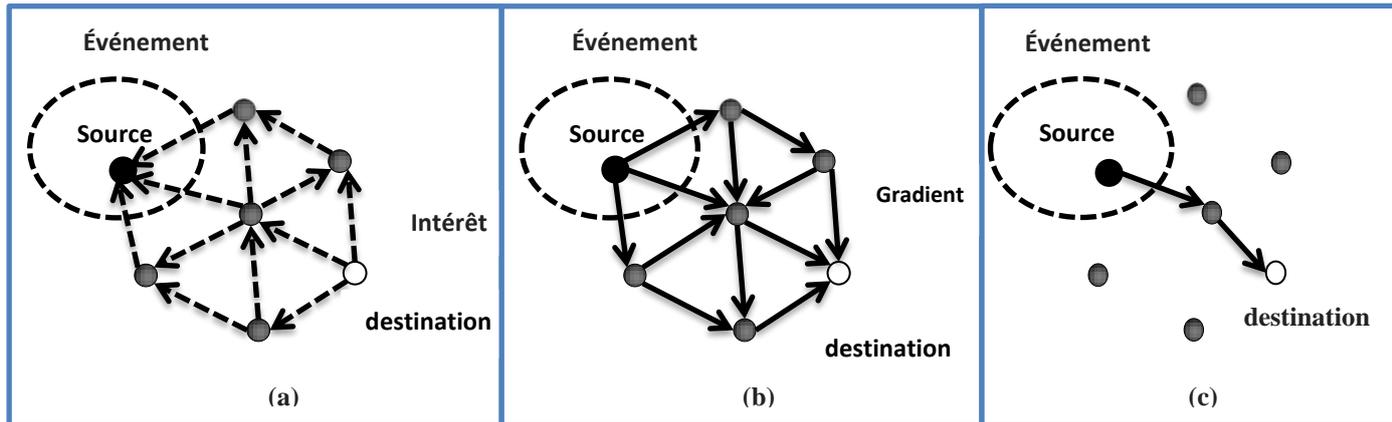


Figure II.3 : Les phases de communication du protocole de Diffusion dirigée.

II.4.2 Les protocoles basés sur la localisation (géographique):

Les protocoles de routage basés sur la localisation utilisent les informations d'emplacement pour guider la découverte de routage et la transmission des données. Ils permettent la transmission directionnelle de l'information en évitant l'inondation d'information dans l'ensemble du réseau. Par conséquent, le coût de contrôle de l'algorithme est réduit et le routage est optimisé. De plus, avec la topologie réseau basée sur des informations de localisation de nœuds, la gestion du réseau devient simple. L'inconvénient de ces protocoles de routage est que chaque nœud doit connaître les emplacements des autres nœuds. [15]

On retrouve notamment les protocoles:

II.4.2.1 MECN et SMECN

MECN (*Minimum energy communication network*) utilise le GPS à basse puissance. Le concept de base derrière MECN est d'établir un sous-réseau dans lequel le nombre de nœuds est inférieur et moins de puissance est nécessaire pour transmettre une donnée entre les nœuds. Il forme un sous-réseau avec un minimum d'énergie pour la transmission entre deux nœuds particuliers quelconques. Les informations de localisation sont basées sur le GPS. Le schéma de routage MECN fonctionne sur le concept de région relais constituée de nœuds relais. SMECN (*Small MECN*) est une version étendue de MECN. Il divise également le réseau en une région relais, mais plus petite que la région créée par MECN. La figure 7 montre R_c c'est les régions relais créées par MECN, et R'_c c'est les régions relais créées par SMECN. Un nœud 'S' dans la figure 7 est un nœud source qui envoie les données aux autres nœuds voisins. Il existe un certain nombre de protocoles de routage dans le réseau de capteurs sans fil. Chaque protocole a ses propres caractéristiques qui les différencient des autres. Mais

Les protocoles de routage dans les RCSF

le routage géographique est une meilleure technique que les autres. Il réduit les frais généraux et rend le réseau plus rapide que les protocoles non-géographiques. [16]

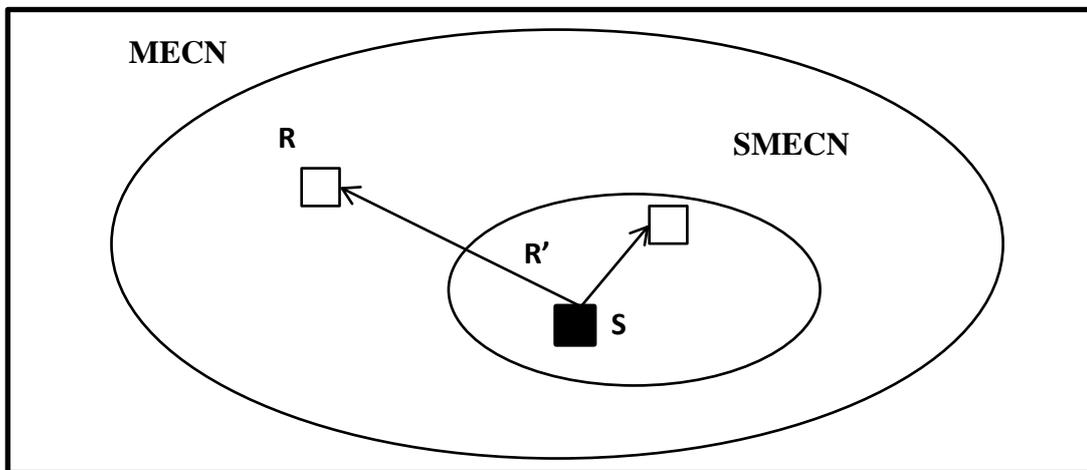


Figure II .4 : Régions relais dans MECN et SMECN. [17]

II.4.2.2 GAF

GAF (*Geographic adaptive fidelity*) est un protocole de routage basé sur la localisation et l'énergie. Auparavant, il était proposé pour les réseaux Ad-hoc, mais maintenant les WSN peuvent également utiliser ce protocole. Dans GAF, l'ensemble du réseau est divisé en une grille virtuelle. La taille de la grille est basée sur le concept selon lequel n'importe quel nœud peut communiquer avec un autre nœud présent dans la grille voisine. Une cellule est affectée à chaque nœud du réseau et un seul nœud par cellule est dans l'état actif, comme indiqué sur la figure 1. Un nœud actif est sélectionné en analysant l'énergie restante la plus élevée d'un nœud. Pour s'associer dans la grille, chaque nœud utilise les informations d'emplacement basées sur le GPS. Dans GAF, trois états de transition sont définis: découverte, état actif et état de veille. La figure 2 montre tous les trois états. T_d est un temps de découverte, T_a est un temps actif et T_s est un temps de sommeil. Seul un nœud actif participe à la surveillance et envoie des données au récepteur. Le nœud actif doit être dans un état actif et tous les autres nœuds qui sont inactifs à ce moment sont dans un état de veille. Lorsqu'un nœud veut sélectionner un nœud actif, il envoie les messages de découverte à tous les nœuds voisins présents dans la grille. Après T_d , un nœud avec l'énergie la plus élevée devient un nœud actif pendant un temps spécifique. Après T_a , le nœud entre de nouveau dans l'état de découverte et commence à découvrir un autre nœud pour entrer dans un état actif. Les nœuds endormis se réveillent avant que l'heure de sortie du nœud actif n'expire et que l'un d'entre eux devienne actif. Par conséquent, il augmente la durée de vie du réseau en réduisant la consommation d'énergie. [16]

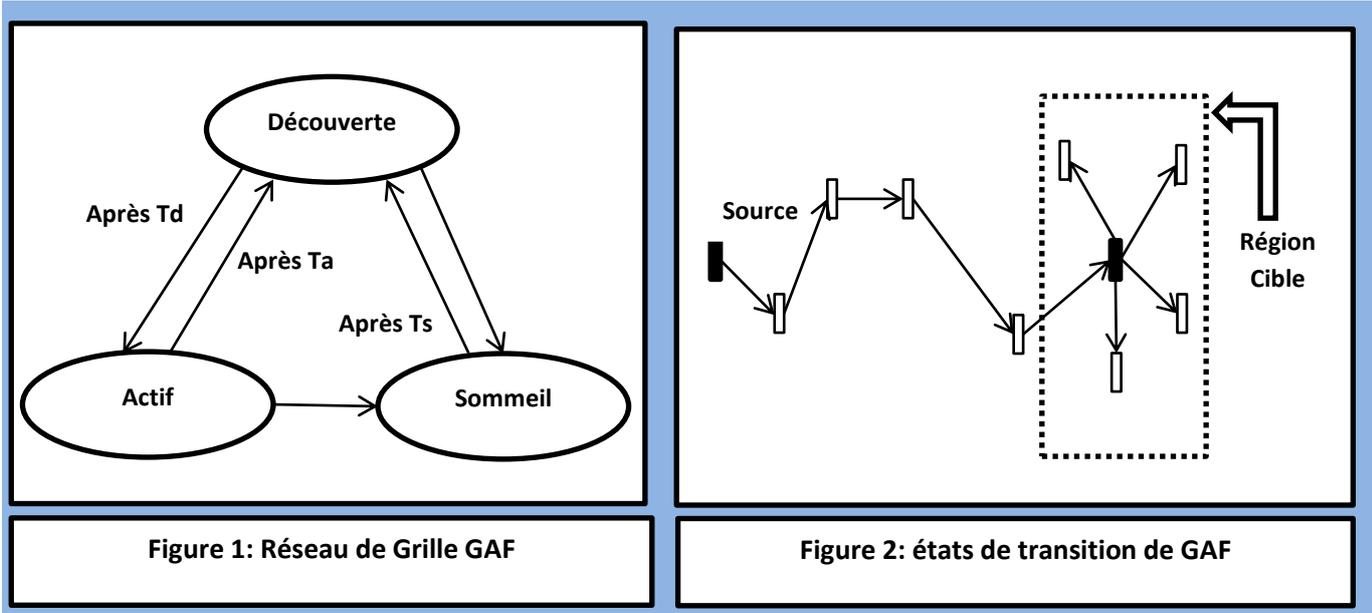


Figure II .5 : principe de fonctionnement d'un GAF.

II.4.2.3 GEAR

Le GEAR (*geographic and energy-aware routing*) se base sur la connaissance de quantité d'énergie et la position de ces voisins pour router le paquet.

L'idée est de restreindre le nombre d'intérêts dans la diffusion dirigée en considérant seulement certaines régions plutôt que d'envoyer les intérêts au réseau tout entier.

Le routage géographique suppose que tous les nœuds connaissent leur position. Une solution basée sur le GPS peut être trop coûteuse, d'autant plus que le nombre de nœuds à équiper est très grand. [14]

II.4.3 Les protocoles de routage hiérarchiques

Le routage hiérarchique est considéré comme étant l'approche la plus favorable en termes d'efficacité énergétique. Il se base sur le concept (nœud standard – nœud maître), en divisant les nœuds en plusieurs niveaux de responsabilité. L'une des méthodes les plus employées est le *clustering*, où le réseau est partitionné en groupes appelés "*clusters*". Un cluster est constitué d'un chef (*cluster-head*) et de ses membres. [5]

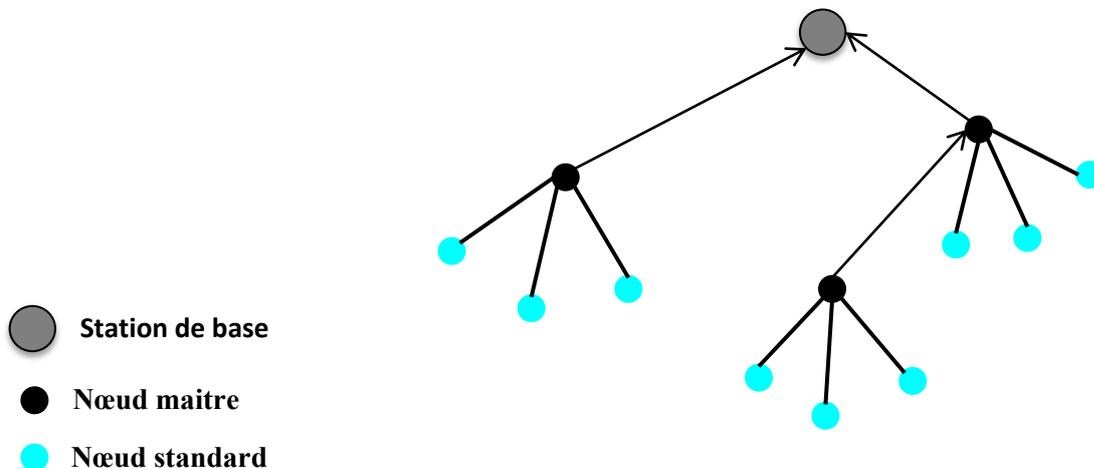


Figure II .6 : Le routage hiérarchique

On retrouve notamment dans cette catégorie les protocoles suivants:

II.4.3.1 LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*)

LEACH est l'un des protocoles de routage hiérarchique le plus populaire pour les réseaux de capteurs. L'idée est de former des clusters de nœuds de capteurs basés sur les zones où il y a un fort signal reçu, puis utiliser des *clusters-heads* locaux comme passerelle pour atteindre la destination. Les *cluster-heads* sont choisis aléatoirement et communiquent directement avec la station de base. Cela permet d'économiser de l'énergie car les transmissions ne sont effectuées que par les *cluster-head* plutôt que par tous les nœuds de capteurs. [17]

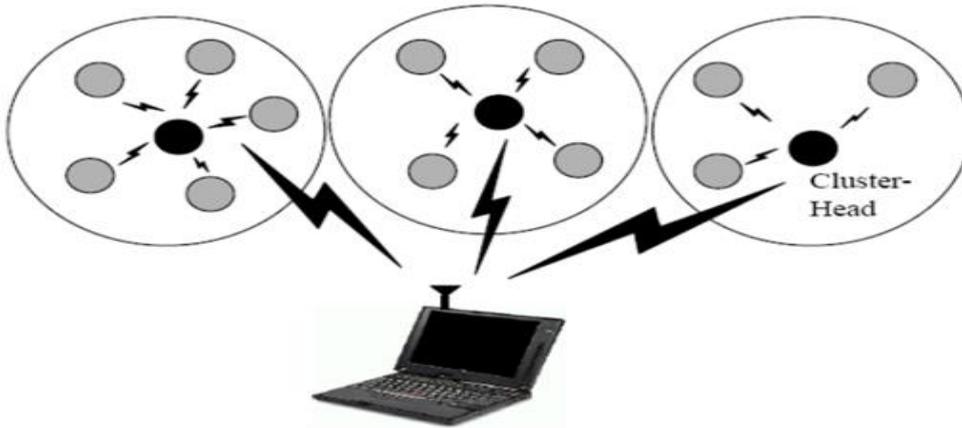


Figure II.7 : Algorithme de routage LEACH

II.4.3.2 PEGASIS (*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems*)

PEGASIS est une version améliorée du protocole LEACH. Ce protocole forme une chaîne entre les nœuds de sorte que les nœuds reçoivent et communiquent juste des données des nœuds voisins. Les données collectées sont transmises d'un nœud à un autre jusqu'à l'arrivée à un nœud particulier qui va à son tour les transmettre vers la station de base. Les nœuds particuliers sont choisis à tour de rôle selon la politique Round-robin pour le but d'économie l'énergie. Contrairement au protocole LEACH, PEGASIS ne fixe pas le rôle à un seul nœud, mais ils affectent d'autres rôles en fonction de leurs énergies restantes. En plus, PEGASIS suppose que les nœuds peuvent modifier leur puissance de transmission. [7]

II.4.4 Les protocoles non hiérarchiques

Sont des protocoles de routage ad hoc adaptés aux RCSF. Ces protocoles peuvent être classés en deux catégories : les protocoles réactifs et proactifs.

II.4.4.1 Les protocoles de routages réactifs :

Les protocoles réactifs adoptent des algorithmes classiques tels que le routage par vecteur de distance. Les routes sont établies uniquement sur demande et seules les routes en cours d'utilisation sont maintenues. Dans ce cas, un délai supplémentaire est nécessaire au début de chaque session pour la recherche du chemin .

Les protocoles de routage appartenant à cette catégorie créent et maintiennent les routes selon les besoins. Lorsqu'une source a besoin d'une route, une procédure de découverte globale de routes est lancée. [17]

II.4.4.1.1 DSR (*Dynamic Source Routing*)

DSR est un protocole de routage réactif qui utilise la technique de routage source. Cette technique permet à la source de déterminer le chemin ou bien la séquence complète des nœuds parcourus pour atteindre une destination. Dans lequel un nœud commence le processus de découverte de la route par un paquet RREQ (*route request*) seulement lorsqu'il n'en connaît pas le chemin approprié. Ce protocole permet de créer une liste de nœuds du chemin du routage qui sera apposé au paquet de données. Cette liste est mise à jour d'une façon continue, alors que les nouvelles routes sont aussi stockées dans d'autres listes. On peut avoir plusieurs listes pour la même destination, ce qui est important dans le cas de défaillance d'un chemin. Lorsque le paquet RREQ arrive à la destination, celle-ci envoie un paquet-réponse RREP à la source. Le chemin de retour peut s'effectuer en inversant les entrées délivrées et mises à jour lors du parcours de RREQ. Une fois RREP est reçu, la source peut alors établir le chemin en se basant sur le chemin mis à jour par le processus de découverte du chemin. [18] La figure 6 donne un bon exemple d'utilisation de DSR:

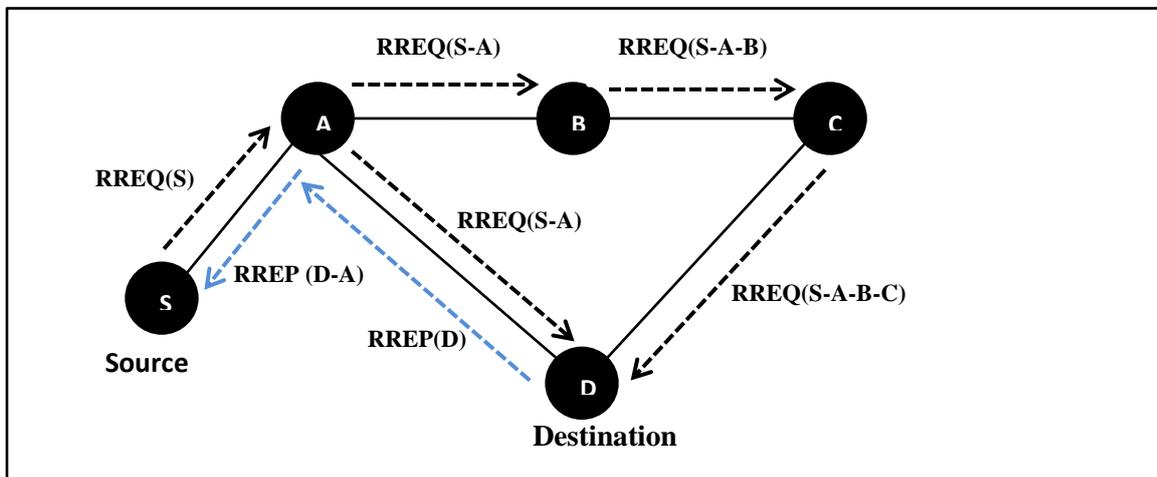


Figure II .8 : Exemple de fonctionnement de DSR.

II.4.4.1.2 AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*)

L'AODV est considéré comme la combinaison de DSR et de DSDV. Il combine les mécanismes de découverte et de maintenance de routes de DSR en y associant le numéro de séquence (pour le maintien de la consistance des informations de routage) et les mises à jour périodiques de DSDV. La découverte de route se fait par diffusion du message RREQ (*Route Request*). AODV utilise le numéro de séquence pour éviter les boucles et être sûr d'utiliser les routes les plus récentes (les plus fraîches). Quand un nœud de transit envoie le paquet de la requête à un voisin, il sauvegarde aussi l'identificateur du nœud dans la table de routage à partir duquel la première copie de la requête est reçue. Cette information est utilisée pour construire le chemin inverse. Si un nœud reçoit plusieurs copies d'un même RREQ, seule la première est conservée.

Une fois que le message atteint la destination, elle retransmet un message RREP (*Route Reply*) vers la source par le chemin inverse. Étant donné que le RREP est envoyé par le même chemin que le RREQ. AODV ne supporte que des liens symétriques. Le protocole de routage AODV n'assure pas l'utilisation du meilleur chemin existant entre la source et la destination, mais il ne présente pas de boucle de routage et évite le problème «*counting to infinity*» de Bellman-Ford, ce qui offre une convergence rapide quand la topologie du réseau change.[19]

II.4.4.2 Les protocoles de routages proactifs :

Les protocoles de routage proactifs sont basés sur la même philosophie que les protocoles de routage utilisés dans les réseaux filaires conventionnels. Les deux principales méthodes utilisées dans cette classe de protocoles proactifs sont:

- La méthode Etat de Lien ("*Link State*").
- La méthode du Vecteur de Distance ("*Distance Vector*").

Ces méthodes sont utilisées aussi dans les réseaux sans fil. Parmi les protocoles de routage proactifs les plus connus, on citera le DSDV, FSR, OLSR . [17]

II.4.4.2.1 DSDV

L'algorithme DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector*) a été conçu spécialement pour les réseaux mobiles. Chaque station mobile maintient une table de routage qui contient toutes les destinations possibles, le nombre de sauts pour atteindre la destination, le numéro de séquences (SN) qui correspond à un noeud destination, permettant de distinguer les nouvelles routes des anciennes et d'éviter la formation de boucles de routage. Les mises à jour des tables sont transmises périodiquement à travers le réseau afin de maintenir la consistance des informations ce qui génère un trafic important qu'il faut limiter. Pour cela, deux types de paquets de mise à jour sont utilisés : les "*fulls dump*", contenant toutes les informations et des paquets plus petits, ne contenant que les informations ayant changé depuis le dernier full dump. Les mises à jour sont soit incrémentales ou complètes. [19]

II.4.4.2.2 FSR

Le protocole FSR (*Fisheye State Routing*) est basé sur l'utilisation de la technique "œil de poisson" (*fisheye*) et utilisé dans le but de réduire le volume d'information nécessaire pour représenter les données graphiques. Dans la pratique, l'œil d'un poisson-capture avec précision, les points proches du point focal. La précision diminue quand la distance séparant le point vu et le point focal augmente. Dans le contexte du routage, l'approche du "*fisheye*" matérialise, pour un nœud, le maintien des données concernant la précision de la distance et la qualité du chemin d'un voisin direct, avec une diminution progressive du détail et de la précision, quand la distance augmente. La diminution de la précision est assurée en changeant les fréquences de mise à jour, et cela en utilisant des périodes d'échanges différentes pour les différentes entrées de la table de routage. Les entrées qui correspondent aux nœuds les plus proches sont envoyées aux voisins avec une fréquence élevée et donc avec une période d'échange relativement petite. [17]

II.4.4.2.3 OLSR(*Optimized Link State Routing*)

Le protocole de routage OLSR est un algorithme proactif, il effectue une diffusion vers les destinations sélectionnées à travers les nœuds appelés relais multipoints (*MultiPoint Relays* : MPRs). Chaque nœud choisit la liste des MPRs de l'ensemble de ses voisins. Les messages

diffusés comportent l'information sur l'état du lien et le nombre de fois où l'état de lien a été mis à jour. La réception de ce message permet aux nœuds de mettre à jour leurs tables de routage et déterminer leurs routes. L'idée est qu'à chaque fois qu'un nœud diffuse un message, les nœuds MPRs sont les seuls responsables de le rediffuser, ce qui réduit le degré d'inondation du réseau. [18]

OLSR définit quatre types de message distinct : HELLO, TC (*Topology Control*), MID (*Multiple Interface Declaration*) et HNA (*Host and Network Association*). À l'aide des messages cités précédemment le protocole OLSR effectue deux actions principales : La détection de voisinage et détermination des MPR grâce au message HELLO. La gestion de la topologie et de la table de routage grâce au message TC, MID et HNA.

II.5. Contraintes de routage dans les réseaux de capteurs sans fil

Plusieurs contraintes doivent être prises en compte dans la conception des protocoles de routage dans RCSF en cité :

- il n'est pas possible d'établir un système d'adressage global pour le grand nombre de nœuds.
- Réseau à sources multiples / destination unique c-à-d les applications des réseaux de capteurs exigent l'écoulement de données mesurées depuis des sources multiples vers la destination finale " *Sink*".
- Limitations :
 - Contraintes d'énergie : toutes les couches doivent tenir compte de la limitation d'énergie pour maximiser de la durée de vie du réseau.
 - Bande-passante
- les nœuds capteurs exigent ainsi une gestion soigneuse des ressources.
- Les différents capteurs peuvent générer produire les mêmes données à proximité d'un phénomène (problème de la roudendance des données).

II.6. les avantages et les inconvénients des différentes catégories des protocoles de routages :

| Les protocoles de routage dans les RCSF

Les catégories	Les avantages	Les inconvénients
Protocole de routage « data centric »	<ul style="list-style-type: none"> - Le fait que tous les noeuds des protocoles data centric ont le même rôle et les mêmes propriétés ,et les noeuds ont besoin de connaître seulement leurs voisins, rend ce protocole passable à l'échelle. - Les protocoles data centric permettent aux protocoles de routage d'être simple, puisque les noeuds communiquent entre eux sans avoir appel à un intermédiaire. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les noeuds qui entourent un nœud, car le trafic le plus élevé dans un réseau se trouve autour des noeuds puits.
Protocole de routage basé sur la localisation	<ul style="list-style-type: none"> -L'utilisation des systèmes de positionnement, tels que le GPS, fournit un avantage assez important .Ces systèmes ont pour but l'amélioration de la connaissance de positionnement des capteurs au centimètre près ,ainsi de faciliter le contrôle de la topologie et celui de la puissance de transmission des capteurs. -Dans le routage basé sur la localisation géographique, la région de captage est connue et les requêtes peuvent être donc dirigées uniquement vers cette région, ce qui éliminera le nombre de transmissions de manière significative . 	<ul style="list-style-type: none"> -La première contrainte se situe dans les noeuds devront être équipés d'un système de localisation par satellite. -Les récepteurs GPS sont coûteux en énergie et relativement peu précis.
Protocole de routage hiérarchique	<ul style="list-style-type: none"> - Agrégation des données : l'avantage réside dans le fait que les données du cluster entier peuvent être combinées par le cluster-head et envoyées vers la destination ce qui permet d'économiser de l'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> -Les cluster-head consomment plus d'énergies que les autres noeuds, s'ils restent les mêmes pour longtemps, le réseau risquera de se découper, ainsi les noeuds capteurs ne pourront pas communiquer avec la station de base, et les informations de capture n'y seront pas transmises.
Protocole de routage non hiérarchique	Les protocoles réactifs	
	<ul style="list-style-type: none"> -Les noeuds ne conservent pratiquement aucune information sur la topologie globale du réseau : seules les informations sur les routes actives sont stockées. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les protocoles réactifs engendrent un délai lors de la construction (ou de la reconstruction) des routes et produisent plus difficilement des routes optimales.
	Les protocoles proactifs	
<ul style="list-style-type: none"> -Les protocoles proactifs disposent en permanence d'une route pour chaque destination dans le Réseau 	<ul style="list-style-type: none"> -Un volume de signalisations important 	

Tableau II.1 : les avantages et les inconvénients des différentes catégories des protocoles de routage.

Les protocoles de routage dans les RCSF

Les protocoles	Catégorie	Type de protocole	Agrégation	Résumé
SPIN	Data-centric	Schéma à état de lien	Oui	Chaque nœud recevant de nouvelles données, l'annonce à ses voisins et ceux intéressés récupèrent les données en envoyant une requête.
Routage par rumeur	Data-centric	Vecteur de distance	Oui	L'idée est de transmettre les requêtes aux nœuds qui ont observé un événement particulier.
La diffusion dirigée	Data-centric	Schéma à état de lien	Oui	Une requête intérêt est définie par une liste de couples attribut-valeur et est diffusée par le sink vers ses voisins.
MECN et SMECN	Basés sur la localisation	Vecteur de distance	Non	MECN à pour établir un sous-réseau SMECN dans lequel le nombre de nœuds est inférieur et moins de puissance est nécessaire pour transmettre une donnée entre les nœuds.
GAF	Basés sur la localisation	Schéma à état de lien	Non	L'ensemble du réseau est divisé en une grille virtuelle. Dans lequel n'importe quel nœud peut communiquer avec un autre nœud présent dans la grille voisine.
GEAR	Basés sur la localisation	Vecteur de distance	Non	Elle se base sur la connaissance de quantité d'énergie et la position de ces voisins pour router le paquet.
LEACH	Hierarchique	Vecteur de distance	Oui	L'idée est de former des clusters de nœuds de capteurs basés sur les zones où il y a un fort signal reçu, puis utiliser des clusters-heads locaux comme passerelle pour atteindre la destination.
PEGASIS	Hierarchique	Vecteur de distance	Non	Ce protocole forme une chaîne entre les nœuds de sorte que les nœuds reçoivent et communiquent juste des données des nœuds voisins.
DSR	Réactif	Schéma à état de lien	Non	Utilise la technique de routage source, la découverte de route et la maintenance de route
AODV	Réactif	Vecteur de distance	Oui	Découverte et maintenance des routes en y associant le numéro de séquence pour le maintien de la consistance des informations de routage
DSDV	Proactif	Vecteur de distance	Non	Il maintient une table de routage qui contient le nombre de sauts et le numéro de séquences (SN) pour atteindre toutes les destinations possibles, avec des mises à jour transmises périodiquement
FSR	Proactif	Vecteur de distance	Non	Réduire le volume d'information nécessaire pour représenter les données graphiques pour atteindre toutes les destinations avec une diminution progressive du détail
OLSR	Proactif	Schéma à état de lien	Non	Elle utilise un message de contrôle pour détection de liaison, détection des voisins (MPR), détection de multiples interfaces, calcul des routes.

Tableau II.2: Résumé et comparaison des protocoles de routages dans les réseaux de capteurs.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux protocoles de routage dans les réseaux de capteurs. Ces réseaux se classent selon quatre catégories principales : les protocoles hiérarchiques, les protocoles non hiérarchiques, les protocoles basés sur la localisation et les protocoles data-centric. Enfin, nous nous sommes concentrés sur les avantages et les inconvénients et on a mené une étude comparative entre ces différents protocoles.

Dans le prochain chapitre, on va étudier les protocoles AODV et DSR ainsi que les résultats de simulation.

Chapitre III :

Tests et analyse des résultats

III.1 Introduction

Les RCSF et les réseaux ad-hoc ont de nombreux points communs : réseaux sans infrastructure, architecture décentralisée, autonomie, utilisation des ondes radio pour communiquer. En outre, les RCSF dédiés pour les applications orientées événements visent à minimiser le temps pour remonter l'information collectée à la station de base.

Les réseaux de capteurs sans fil nécessitent des techniques de communication efficace afin d'assurer une bonne connectivité et rapidité des données.

L'objectif principal de ce chapitre est l'étude des performances des protocoles de routage ad hoc appliqués aux réseaux de capteurs sans fil tels qu'AODV et DSR après nous définissons ces protocoles et leurs principes de fonctionnement, nous exposant aussi comment effectuer la simulation de ces deux protocoles par le simulateur NS-2 afin de calculer des critères d'évaluations. Enfin l'interprétation et l'évaluation des résultats de simulation.

III.2 Etudes des Protocoles AODV, DSR

III.2.1 Le protocole DSR (*Dynamic Source Routing*)

Le protocole DSR est basé sur l'utilisation de la technique "routage source". Dans cette technique, la source des données détermine la séquence complète des nœuds à travers lesquels les paquets de données seront envoyés. Un hôte initiateur de l'opération de " découverte de routes ", diffuse un paquet requête de routes. Si l'opération de découverte est réussite, l'initiateur reçoit un paquet réponse de routes qui liste la séquence de nœuds à travers lesquels la destination peut être atteinte. Le paquet requête de routes contient donc un champ enregistrement de routes, dans lequel sera accumulée la séquence des nœuds visités durant la propagation de la requête dans le réseau.

Afin d'assurer la validité des chemins utilisés, le DSR exécute une procédure de maintenance de routes :

- quand un nœud détecte un problème fatal de transmission, à l'aide de sa couche de liaison, un message erreur de route (*route error*) est envoyé à l'émetteur original du paquet.
- Le message d'erreur contient l'adresse du nœud qui a détecté l'erreur et celle du nœud qui le suit dans le chemin.
- Lors de la réception du paquet erreur de route par l'hôte source, le nœud concerné par l'erreur est supprimé du chemin sauvegardé, et tous les chemins qui contiennent ce nœud sont tronqués à ce point-là. Par la suite, une nouvelle opération de découverte de routes vers la destination est initiée par l'émetteur.

L'utilisation du technique "routage source", fait que les nœuds de transit n'aient pas besoin de maintenir les informations de mise à jour pour envoyer les paquets de données, puisque ces derniers contiennent toutes les décisions de routage.

Dans ce protocole, il y a une absence totale de boucle de routage, car le chemin source-destination fait partie des paquets de données envoyés. [20]

III.2.2 Le protocole AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*)

AODV est un protocole de routage réactif de type vecteur de distance. Il reprend certains principes de DSDV. Il réduit le nombre de diffusions de messages en créant les routes au besoin, contrairement au DSDV qui maintient la totalité des routes. L'AODV est basé sur l'utilisation des deux mécanismes "Découverte de route" et "Maintenance de route" (utilisés par le DSR), en plus du routage nœud par nœud, du principe des numéros de séquence et de l'échange périodique du DSDV. Ce protocole utilise le principe des numéros de séquence ce qui permet d'utiliser les routes les plus nouvelles ou autrement dit les plus fraîches (fresh routes).

Comme le fait DSR, l'AODV utilise une requête de route dans le but de créer un chemin vers une certaine destination. Cependant, l'AODV maintient les chemins d'une façon distribuée en gardant une table de routage au niveau de chaque nœud de transit appartenant au chemin cherché. Une entrée de la table de routage contient essentiellement :

- L'adresse de la destination.
- Le nœud suivant.
- La distance en nombre de nœuds (i.e. le nombre de nœuds nécessaire pour atteindre la destination).
- Le numéro de séquence destination.
- Le temps d'expiration de l'entrée de la table.

Les mécanismes de découverte et de maintenance de routes peuvent s'effectuer par le biais des messages de contrôles suivants:

- RREQ (*Route Request*): Message de demande de route.
- RREP (*Route Reply*): Message de réponse à un RREQ.
- RERR (*Route Error*): Message qui signale la perte d'une route.

Le protocole de routage AODV (tout comme le protocole DSR), n'assure pas l'utilisation du meilleur chemin existant entre la source et la destination. Cependant, des évaluations de performances récentes ont montré qu'il n'y a pas de grandes différences (en termes d'optimisation) entre les chemins utilisés par le protocole AODV et celles utilisées par les protocoles basés sur les algorithmes de recherche des plus courts chemins. De plus, le protocole AODV ne présente pas de boucle de routage et évite le problème "*counting to infinity*" de Bellman-Ford, ce qui offre une convergence rapide quand la topologie du réseau ad hoc change. [20]

III.3 Outils de simulation

III.3.1 NS-2 (Network Simulator version 2)

Le simulateur réseau (NS-2) est un outil de simulation à événements discrets. Il permet la simulation des réseaux IP filaires et sans fil. Il a débuté en 1989, on l'a amélioré au fil des versions. Depuis 1995 NS est soutenue par la contribution de DARPA (*Defense Advanced Research Project Agency*). En 1996, la version 2 de ns a été introduite avec, bien sûr, des améliorations architecturales. En 1997, le ns-2 a été étendu pour soutenir les réseaux sans fil. De nos jours, le NS-2 est l'outil de simulation le plus utilisée pour les réseaux typiques ainsi que pour l'attribution des ressources.

NS-2 est un outil de simulation de réseaux de données. Il est bâti autour d'un langage de programmation appelé Tcl dont il est une extension. Du point de vue de l'utilisateur, la mise en œuvre de ce simulateur se fait via une étape de programmation qui décrit la topologie du réseau et le comportement de ses composants, puis vient l'étape de simulation proprement dite et enfin l'interprétation des résultats. Cette dernière étape peut être prise en charge par un outil annexe, appelé Nam qui permet une visualisation et une analyse des éléments simulés.

NS2 est en réalité un programme relativement complexe écrit en C++ et interfacé via Tcl. Pour modifier le comportement d'objets existants, il est donc nécessaire de modifier le code C++ qui en réalise l'implantation.

Il existe dans le NS-2 une extension, nam (*Network Animator*) qui permet la visualisation de la topologie du réseau et peut afficher les flux de paquets et des files d'attente. [21]

III.3.2 Composants de NS-2

Application	Web, ftp, telnet, générateur de trafic (CBR, ...)
Transport	TCP, UDP, RTP, SRM
Routage	Statique, dynamique (vecteur distance) et routage multipoint (DVMRP, PIM)
Gestion de file d'attente	RED, DropTail, Token bucket
Discipline de service	CBQ, SFQ, DRR, Fair queueing
Système de transmission	CSMA/CD, CSMA/CA, lien point à point

Tableau III.1 : Composants de NS-2

III.3.3 L'architecture NS-2

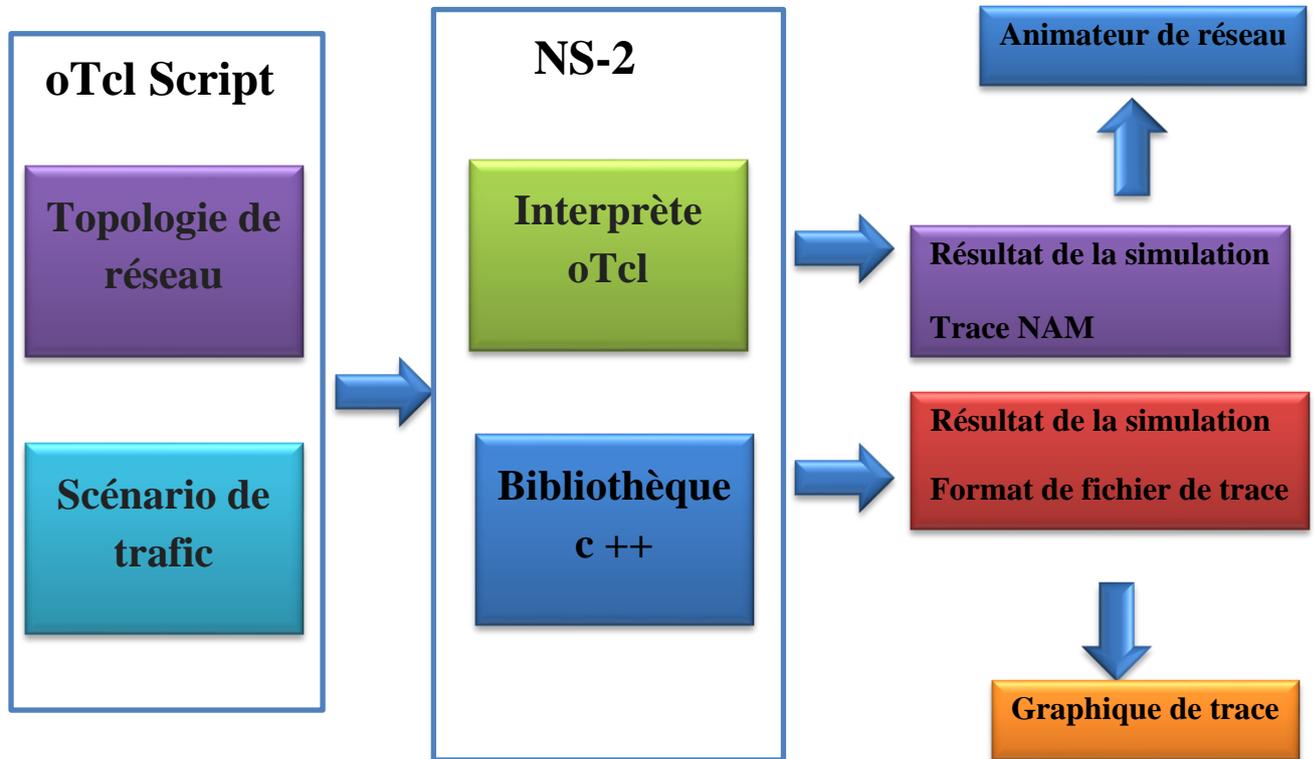


Figure III.1 : Schéma de principe de l'architecture NS-2

III.3.4 Les avantages et les inconvénients de simulateur NS2

Avantages

- Un logiciel de simulation multicouche.
- Un outil complètement libre pour plusieurs plateformes.
- Possibilité d'ajouter des composants à la demande.
- Développement orienté objet.
- Du fait de sa popularité, de nombreux protocoles sont à priori disponibles pour NS-2.

• Inconvénients

- la modélisation dans NS-2 reste une tâche complexe : il n'y a pas d'interface graphique.
- Une forte technicité est requise pour utiliser ce simulateur

III.3.5 Processus de simulation

Le simulateur a besoin du fichier scénario Tcl comme entrée, le scénario prévu du réseau est présenté en tant que séquence de commandes Tcl qui sont alimentées à un simulateur de réseau, et le simulateur produit le résultat d'analyse des performances réseau dans deux fichiers séparés :

- Fichier trace (.tr)
- Fichier NAM (.nam)

1- Fichier (.tcl)

Le langage TCL est un langage de script puissant qui permet d'utiliser éventuellement une approche de programmation orientée objet. Il est facilement extensible par un certain nombre de modules.

Ce fichier est amené à un simulateur du réseau qui génère des fichiers additionnels, pour le traçage. Le script d'analyse du fichier (fichier.awk) prend le fichier de trace en entrée et écrit ses résultats dans des fichiers personnalisés, ce qui sont à nouveau utilisés pour un traitement ultérieur. [22]

```
set ns [new Simulator]

#Setup topography object
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
create-god $val(nn)

#Open the NS trace file
set tracefile [open out.tr w]
$ns trace-all $tracefile

#Open the NAM trace file
set namfile [open out.nam w]
$ns namtrace-all $namfile
$ns namtrace-all-wireless $namfile $val(x) $val(y)
set chan [new $val(chan)];#Create wireless channel

#=====
#      Mobile node parameter setup
#=====
$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
                -llType $val(ll) \
                -macType $val(mac) \
                -ifqType $val(ifq) \
                -ifqLen $val(ifqlen) \
                -antType $val(ant) \
```

Figure III.2 : Exemple de Fichier TCL.

2-Fichier trace (.tr)

Le fichier de trace contient des informations sur les divers événements qui ont eu lieu au cours de la simulation. Il contient tous les détails du comportement des nœuds, les transmissions et les réceptions de paquets, type de paquet, la couche responsable de la communication, les paquets perdus et les raisons de la perte, de la consommation d'énergie, etc ... [22]

3-Le fichier NAM (.nam)

Contient des informations sur la topologie, par exemple, les nœuds, les liens, ainsi que des traces de paquets. On peut dire que c'est un miroir du fichier de trace, à l'exception qu'il utilise une syntaxe différente c'est de travailler avec le visualiseur. [22]

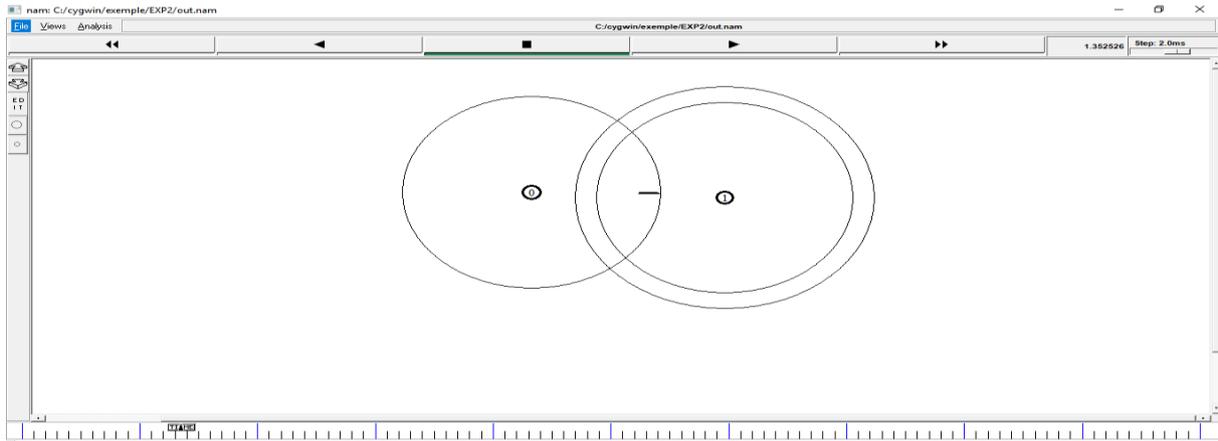


Figure III.3 : Exemple de Fichier Nam.

4. Gnuplot

C'est un outil de type utilitaire graphique pour L'Unix, son code est protégé par copyright, mais il est distribué gratuitement. Il a été créé pour permettre aux scientifiques et aux étudiants de visualiser des fonctions mathématiques par des graphes 2D et 3D. [22]

5. Fichier (.scn)

C'est un fichier qui représente la position des nœuds autour du Coordinateur.

Actuellement, ce fichier est généré avec l'utilitaire (scn.gen) C'est un Fichier texte simple, qui peut être facilement adapté pour placer les nœuds à des positions souhaitées. Notez que les positions des nœuds doivent respecter les limites du réseau mentionné dans le fichier source, Fichier.tcl. [22]

6. Fichier.awk

Paramètre:

Le fichier doit être analysé avec le fichier de trace pour générer les résultats analysés.

Fonctionnement: Le fichier peut prendre en charge la génération des indicateurs de performance (les métriques) suivants : [22]

1. Débit
2. Délai minimum
3. Délai maximum
4. Délai moyen
5. Paquets de données transmis
6. Les paquets de données reçues avec succès par leurs destinations respectives
7. Le taux de livraison de paquets de données
8. Énergie moyenne utilisée
9. Pourcentage moyen de l'énergie consommée
10. Statistiques des paquets perdus

III.4 Les critères d'évaluation

Notre objectif dans ce travail est d'effectuer une évaluation des performances des protocoles AODV et DSR à travers les métriques suivantes :

1. Taux de livraison de paquets

Ce taux noté PDR pour *Packet Delivery Ratio* est le nombre de paquets de données reçus avec succès par la destination par rapport au nombre de paquets de données émis par la source. Il nous permet de vérifier si l'extension du protocole a un impact sur le transfert de paquets de données avec succès.

$$\text{PDR} = \frac{\sum \text{nbr de paquets recus par la destination}}{\sum \text{nbr depaquets envoyes par tous les noeuds source}} \times 100$$

2. Le délai de bout en bout

Le délai pour un paquet est le temps pris pour atteindre la destination, et le délai moyen est de calculer la moyenne des délais pour chaque paquet de données transmis. Il est noté RAL pour *Route Acquisition Latency* ou encore End-to-End Delay.

$$D = \text{Temps de réception} - \text{le temps de transmission}$$

3. Le débit moyen

Parfois appelé bande passante, il définit le volume maximal d'information (bits) par unité de temps (b/s).

$$\text{debit moyen} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{taille du paquet reçu}}{(\text{temps reception} - \text{temps emission})} \times \frac{8}{100}$$

III.5 L'exécution de la simulation

Pour notre simulation, les protocoles que nous avons simulés sont AODV et DSR. Pour évaluer ces derniers, on revient sur les métriques de performances. Ensuite, on applique le scénario que nous avons défini, suivi des paramètres d'évaluations. Enfin, on interprète les graphes tracés à partir des résultats collectés lors de la simulation.

Avant de commencer les tests, nous allons présenter les différents paramètres que nous avons utilisés qui sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètres	Scénario	
Protocole	AODV	DSR
Nombre de nœuds	7, 11,21	7, 11,21
Temps de simulation	12	12
Taille d'un paquet	1500	1500
Nombres des nœuds déplacés	2	2
Simulateur	NS2	NS2

Tableau III.2 Les paramètres utilisés dans le scénario de simulation.

Chapitre III : Tests et analyse des résultats

Dans cet exemple, nous avons l'utilisation principale de NS-2. On va désigner la première topologie qui contient 5 nœuds avec 2 nœuds déplacés. Cela peut être vu dans la figure ci-dessous.

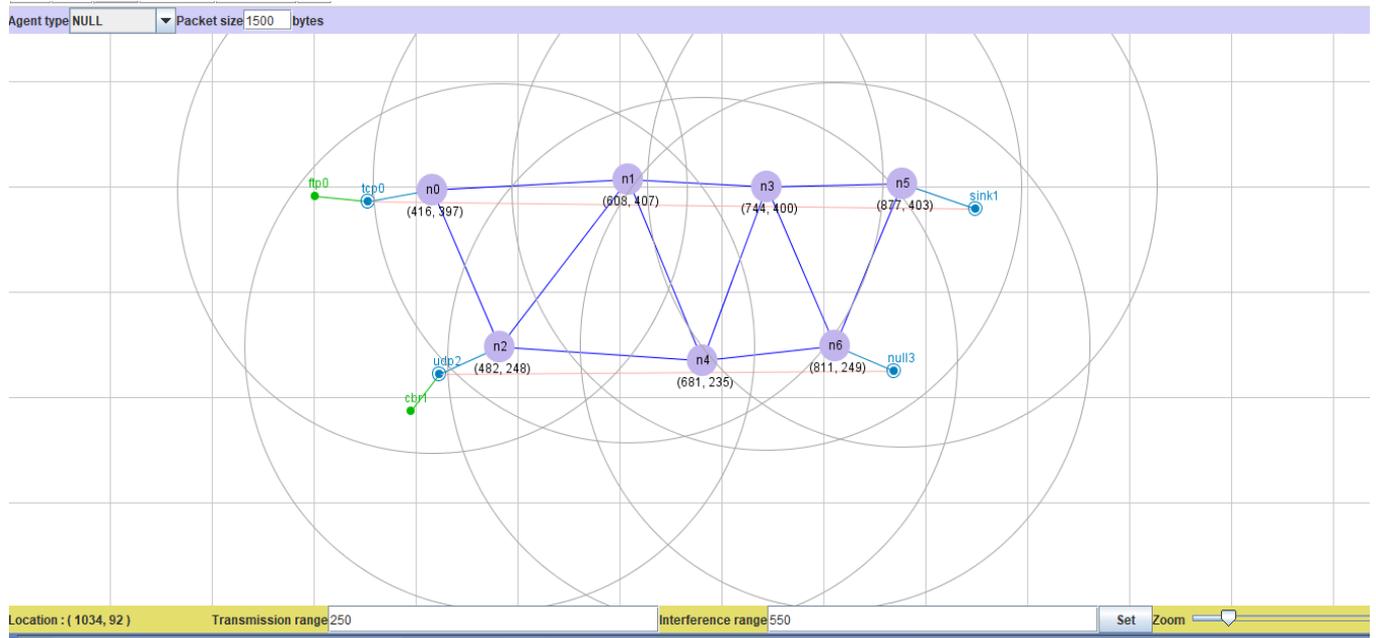


Figure III.4 création de la topologie de réseau numéro 1

On règle les paramètres de simulation suivants le tableau précédent. La figure 5, 6 et 7 montre comment régler ces paramètres.

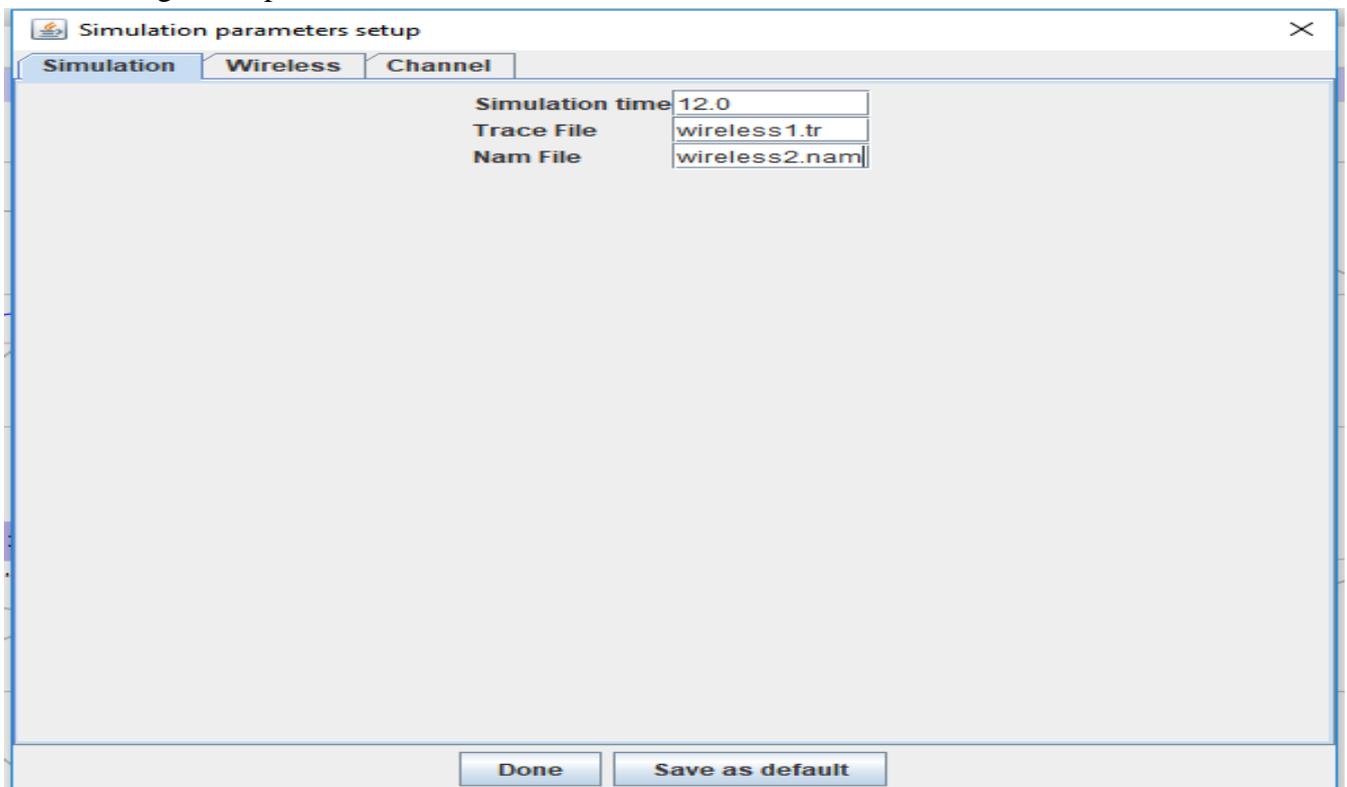


Figure III.5 les paramètres de simulation.

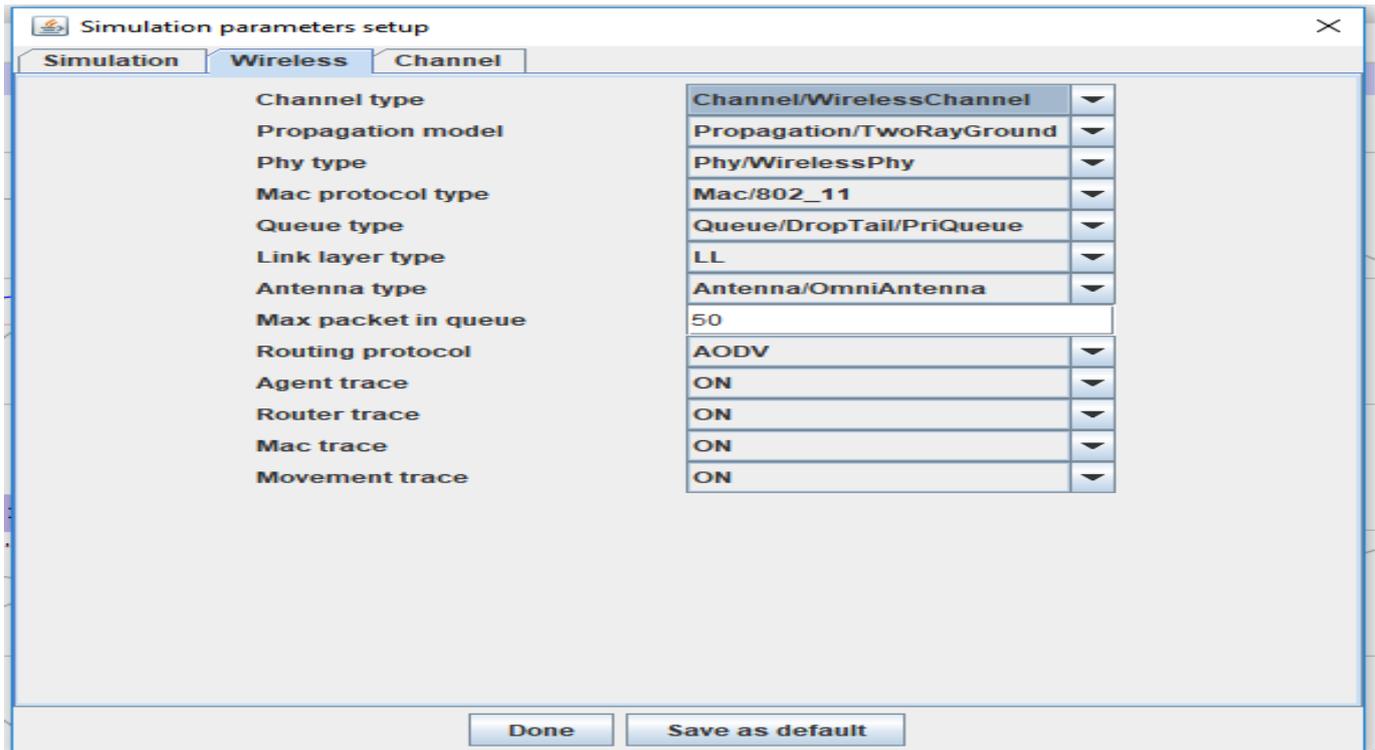


Figure III.6 les paramètres de réseaux.

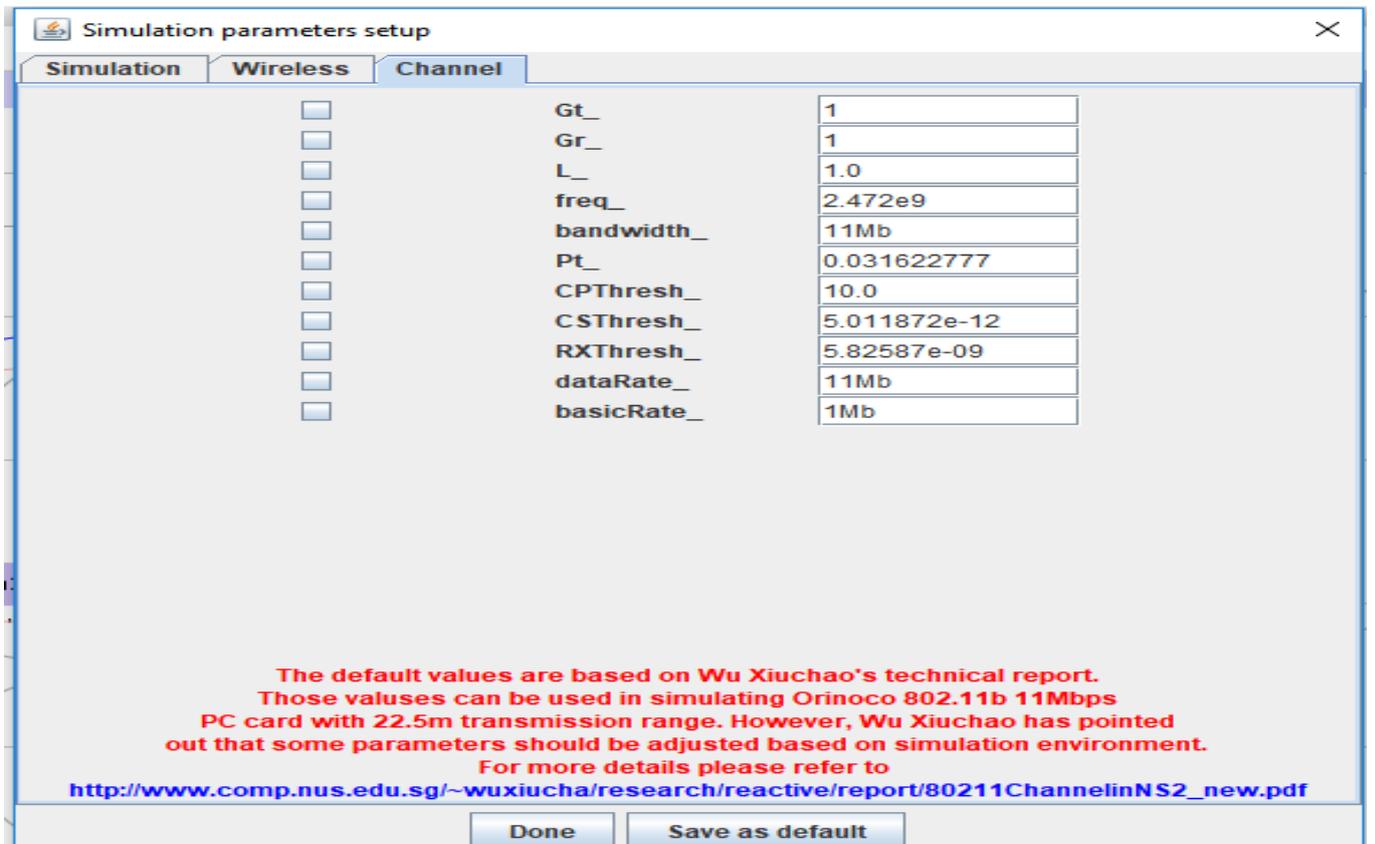


Figure III.7 les paramètres de canal.

Une fois le chargement effectué, nous exécutons la fichier de simulation .TCL.

```
hp@DESKTOP-557M4MC /top1
$ ls
wreless1.tcl

hp@DESKTOP-557M4MC /top1
$ ns wireless1.tcl
couldn't read file "wireless1.tcl": no such file or directory

hp@DESKTOP-557M4MC /top1
$ ns wreless1.tcl
num_nodes is set 7
INITIALIZE THE LIST xListHead
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!

hp@DESKTOP-557M4MC /top1
$ nam: no display name and no $DISPLAY environment variable

hp@DESKTOP-557M4MC /top1
$ ls
wireless1.tr wireless2.nam wreless1.tcl

hp@DESKTOP-557M4MC /top1
$ nam wireless2.nam
nam: no display name and no $DISPLAY environment variable

hp@DESKTOP-557M4MC /top1
$
```

Figure III.8 exécution de fichier .tcl .

On choisit le fichier de type NAM trace et on spécifie l'emplacement du fichier puis on lance la simulation comme montre la figure suivante :

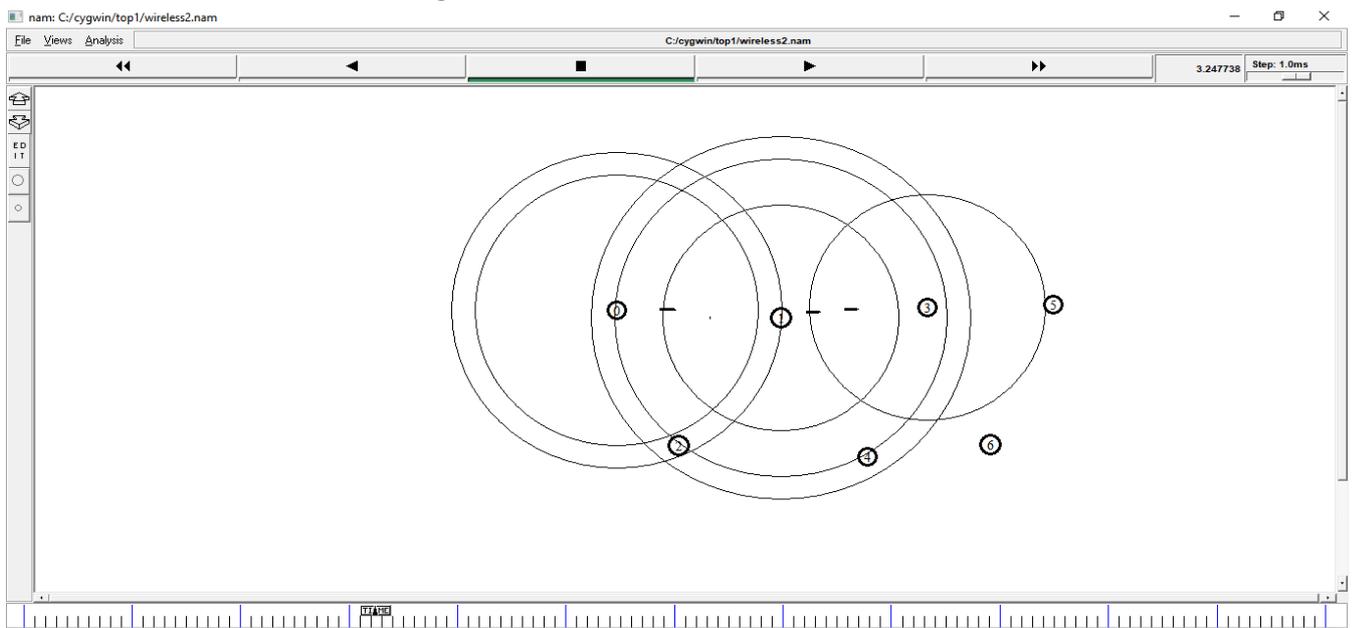


Figure III.9 résultats de l'exécution de fichier .nam .

Chapitre III : Tests et analyse des résultats

On refait les mêmes étapes avec les deux protocoles comme illustré dans les figures suivantes :

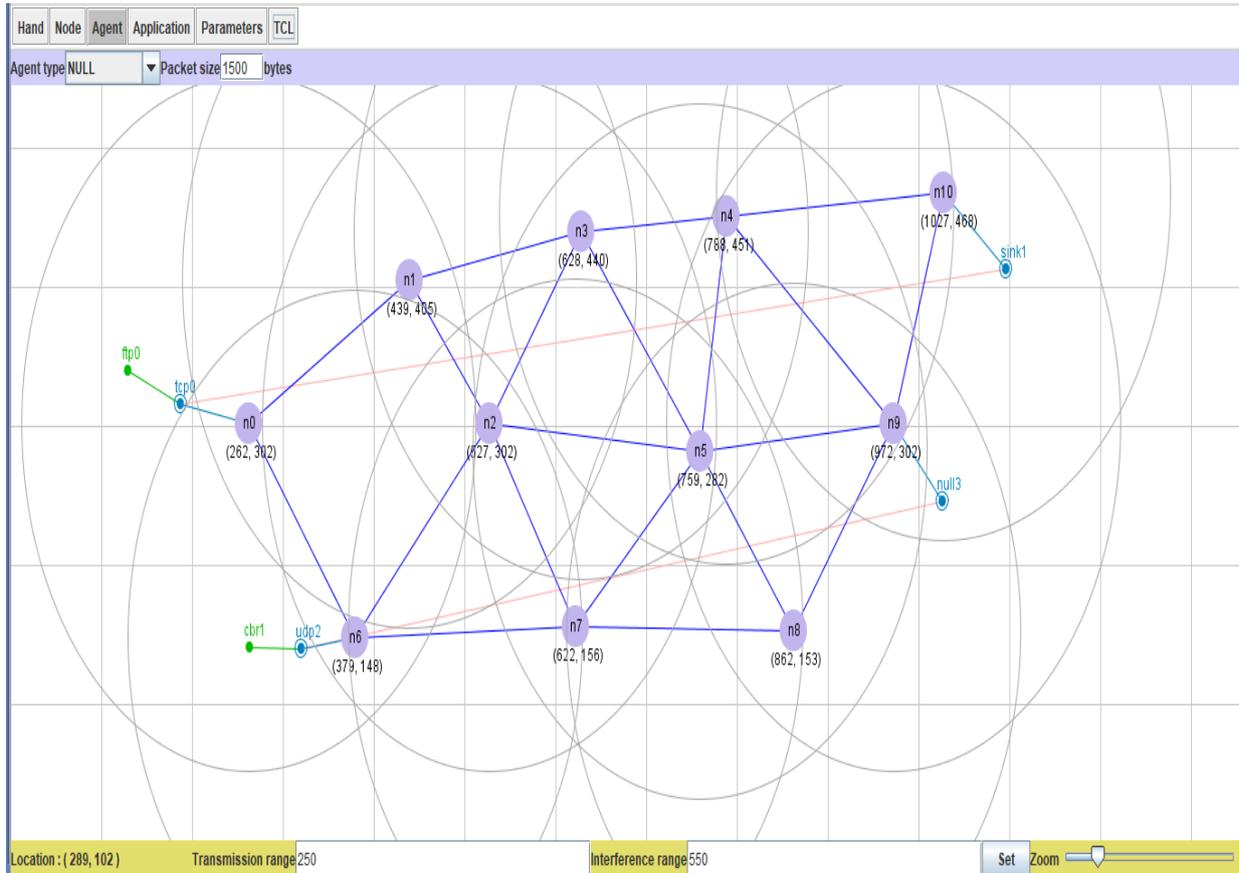


Figure III.10 la deuxième topologie.

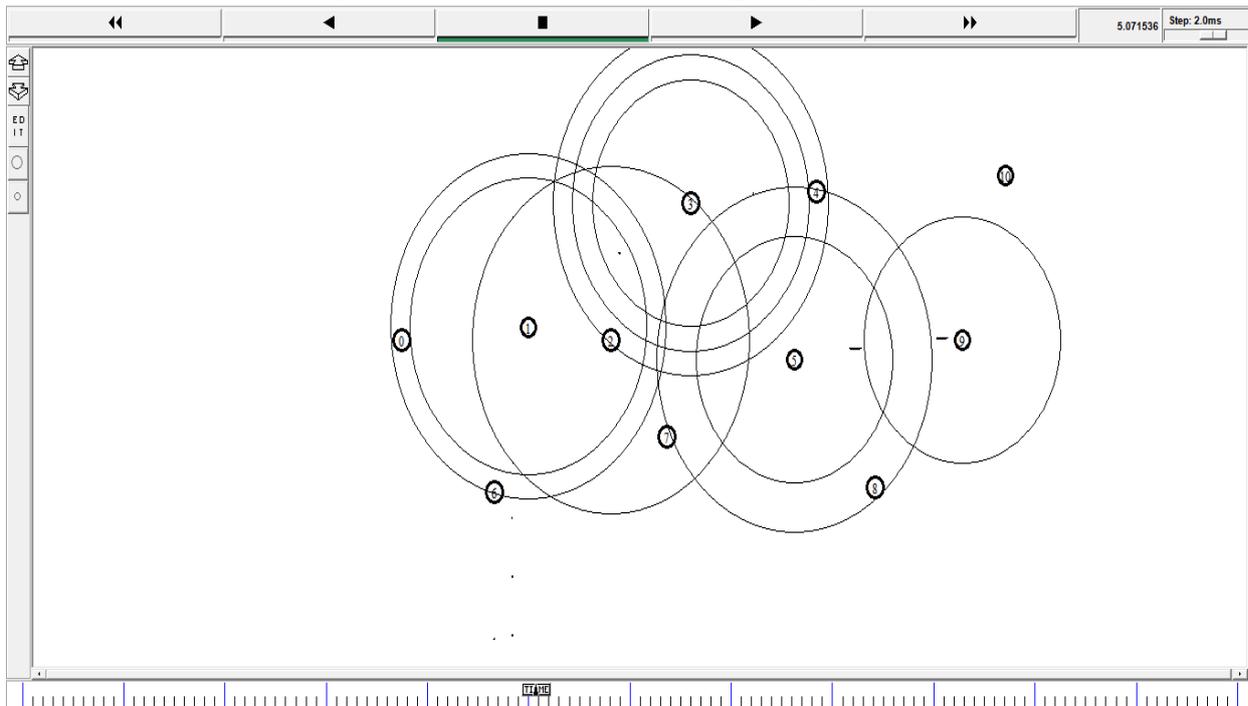


Figure III.11 la fichier .nam de la deuxième topologie.

Chapitre III : Tests et analyse des résultats

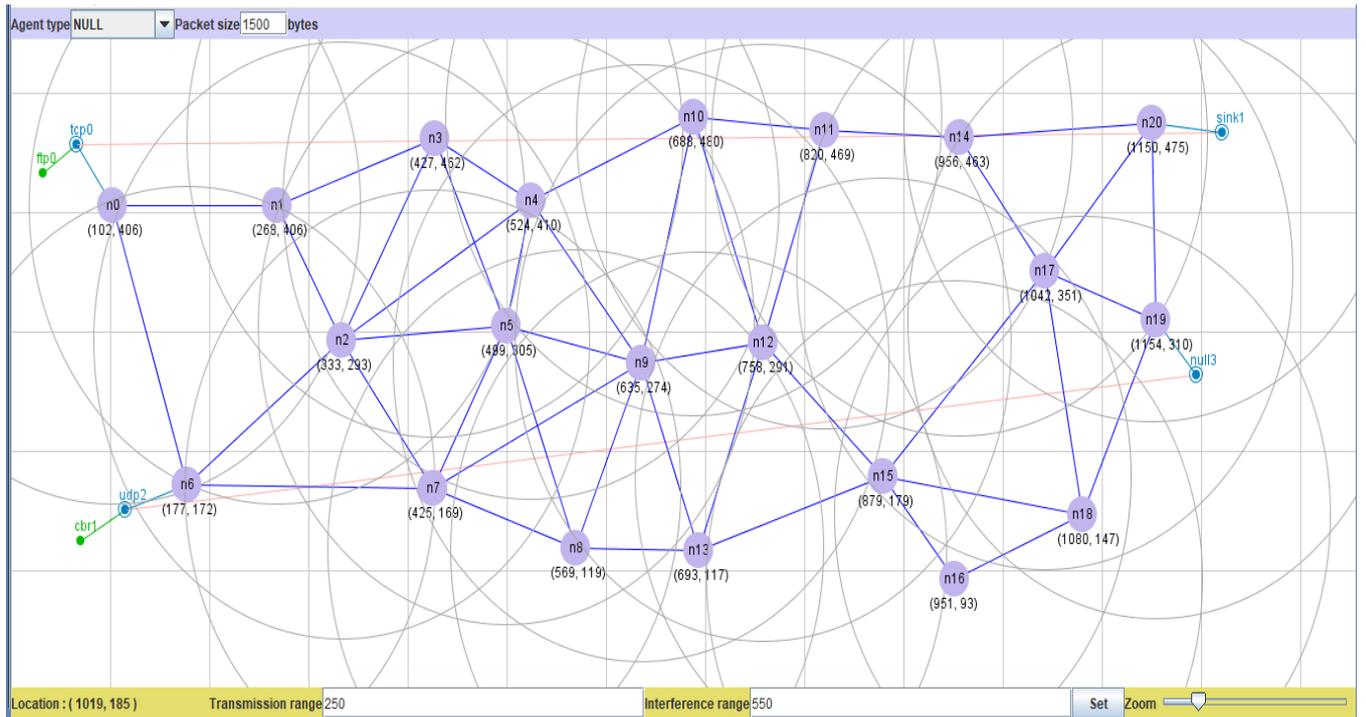


Figure III.12 la troisième topologie.

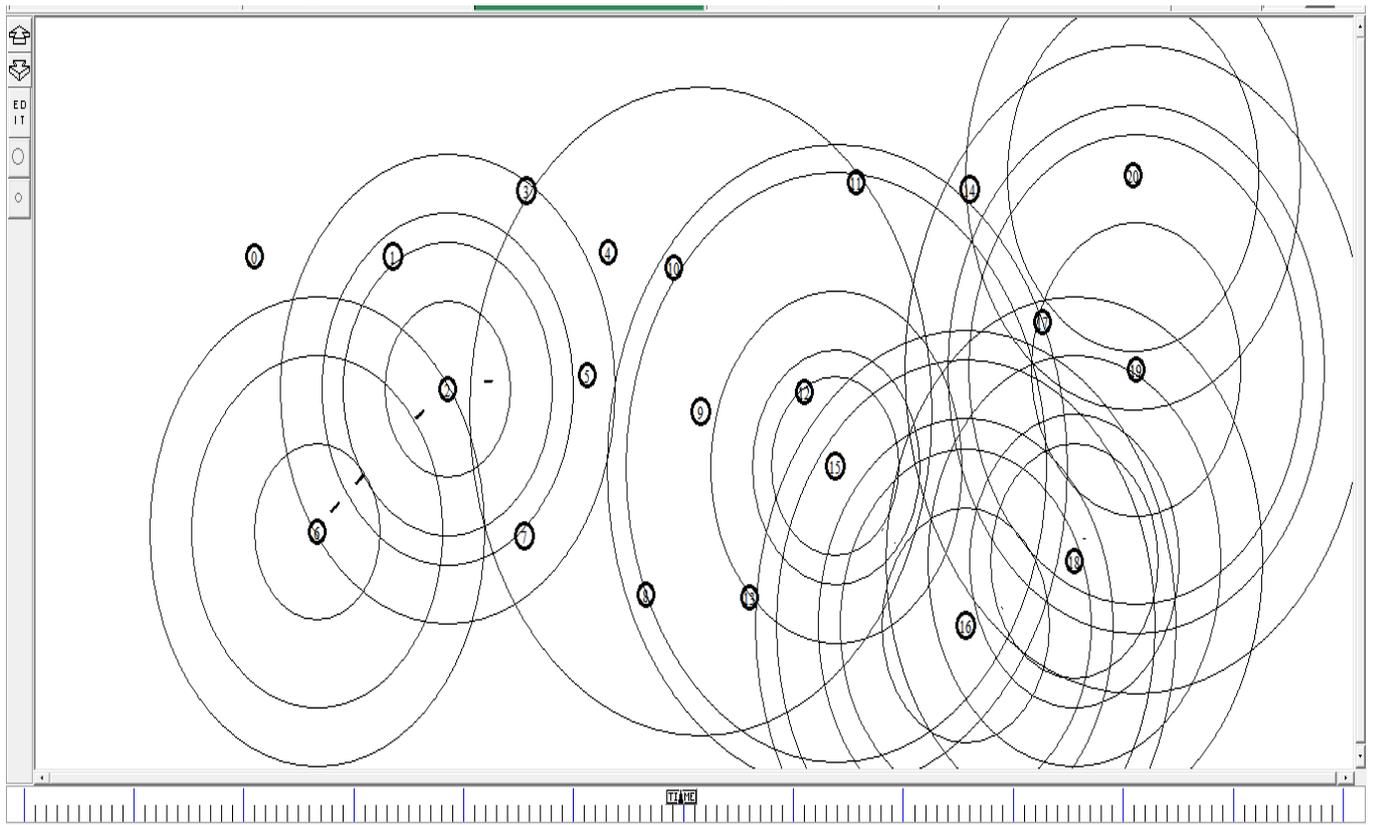


Figure III.13 la fichier .nam de la troisième topologie.

III.6 Résultats de simulations

L'exécution des protocoles de routage est évaluée sur le simulateur NS2. Nous avons examiné trois paramètres d'évaluation : le débit, délais, taux de livraison des paquets. Les figures suivantes montrent les performances de ces deux protocoles.

1. Le débit moyen

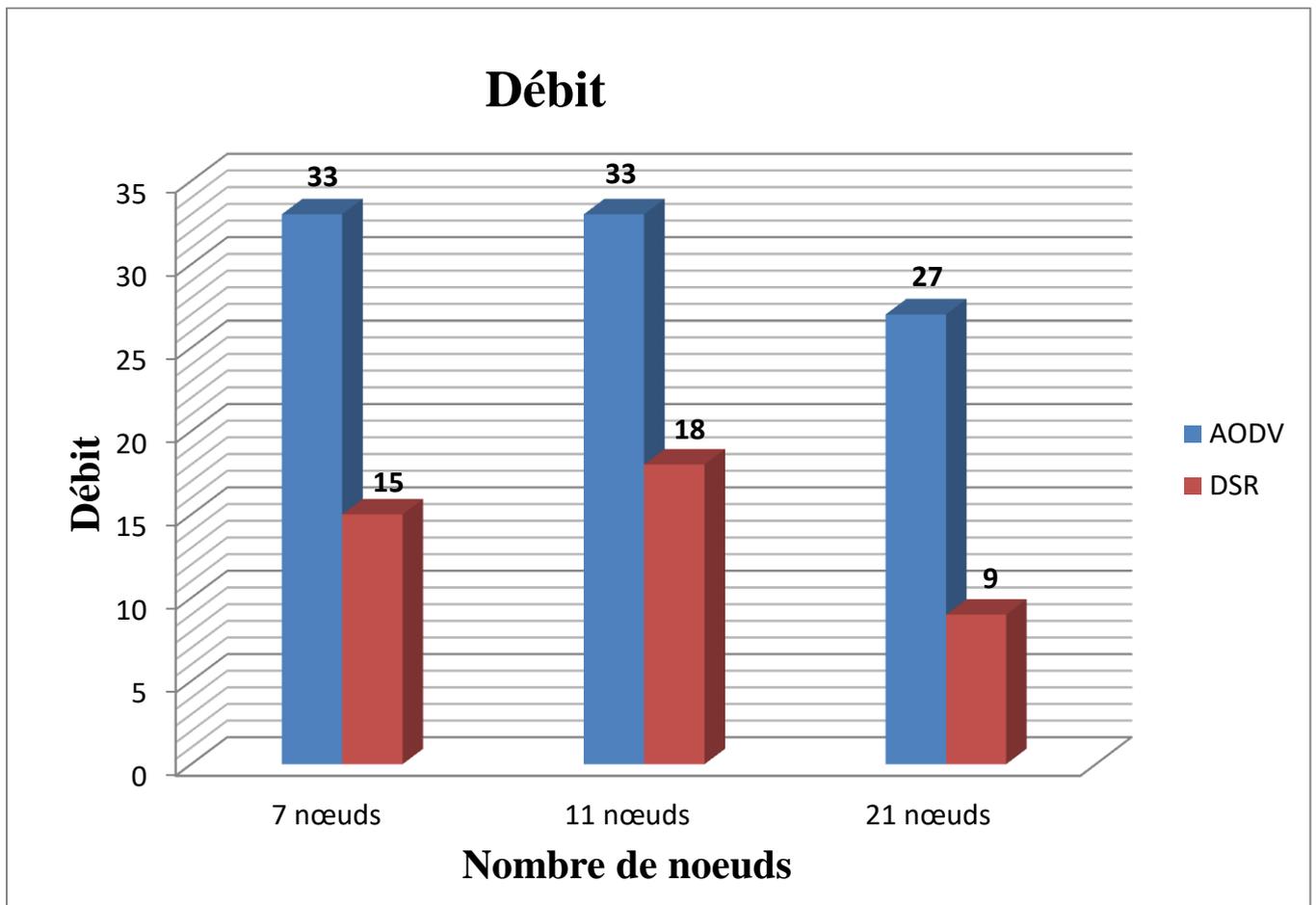


Figure III.14 Le débit moyen.

2. Le délai de bout en bout

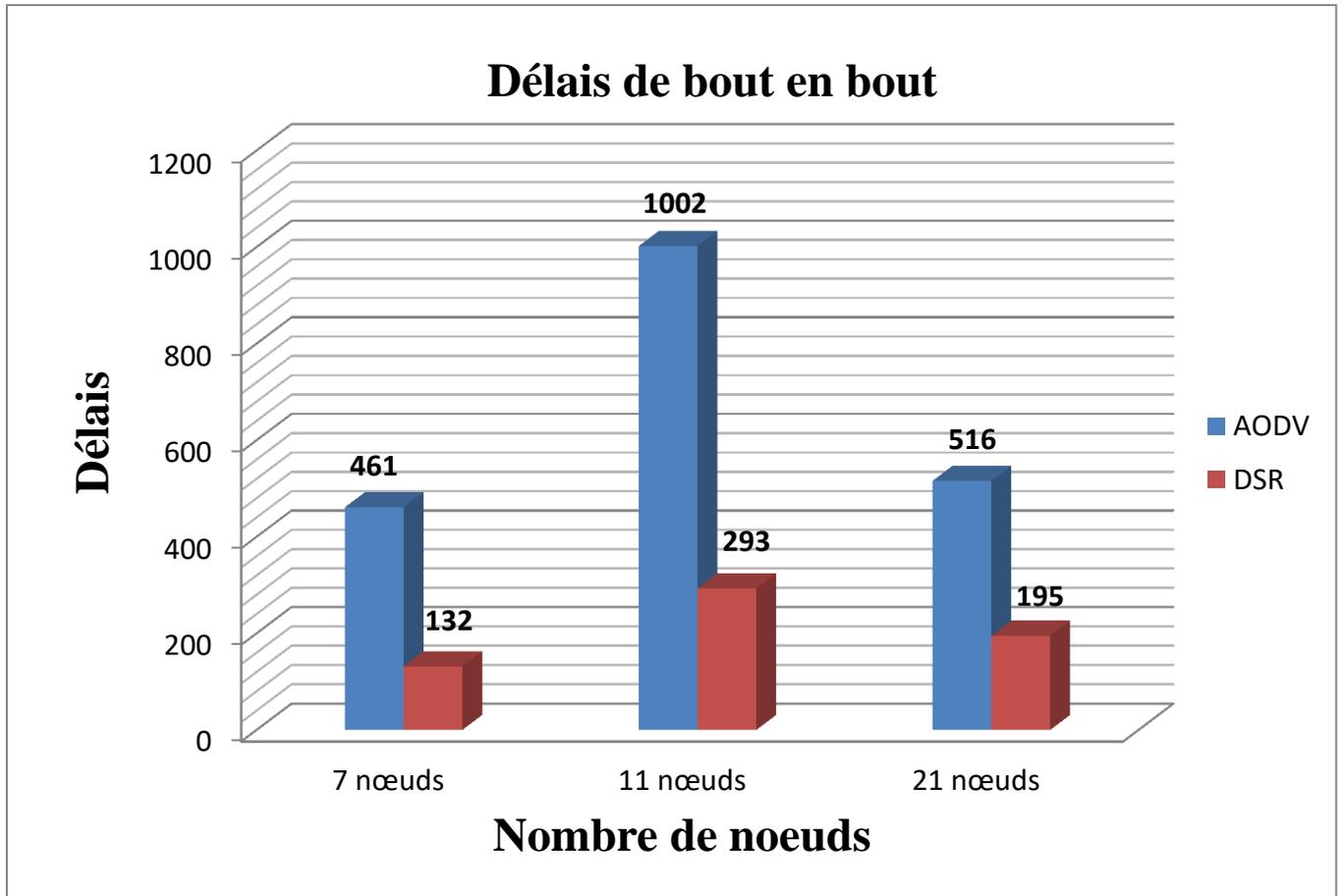


Figure III.15 Le délai de bout en bout.

3. Taux de livraison des paquets

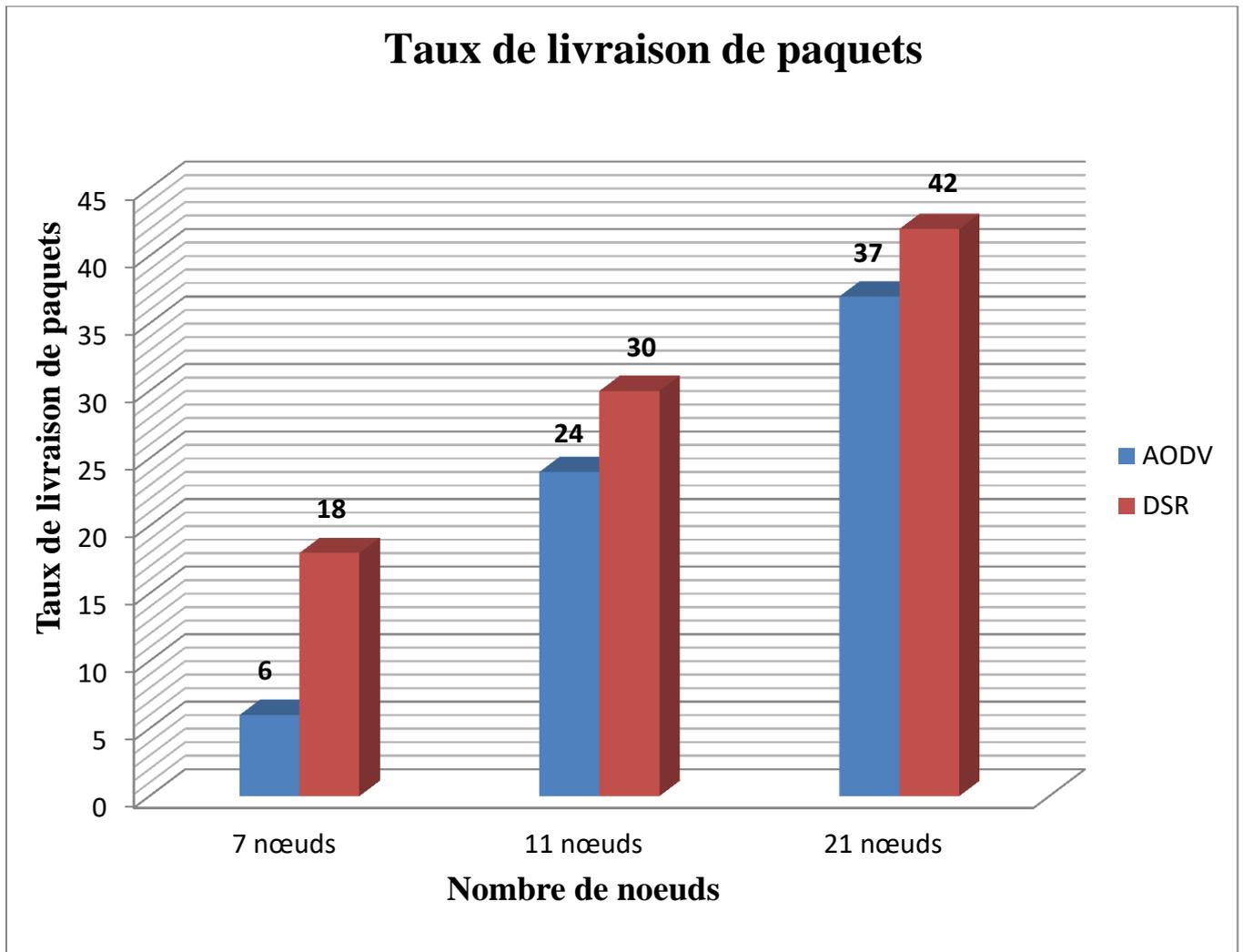


Figure III.16 Taux de livraison des paquets.

III.7 Discussion des résultats

Dans la figure III.14 qui représente le débit en fonction du nombre de nœuds, on constate que le débit global d'AODV est mieux que celui du DSR.

À la figure III.16, on constate que la livraison de paquets augment pour les deux protocoles DSR avec l'augmentation du nombre de nœuds sauf que le taux de livraison de paquets pour DSR est plus important que celui du AODV .Donc les résultats obtenus confirment que le taux de paquets délivrés par le protocole DSR est plus élevé par rapport au protocole AODV.

Enfin la figure III.15 montre les résultats du délai de bout en bout des deux protocoles de routage simulé. On observe qu'AODV produit un retard plus important dans les 3 topologies de réseau en comparaison avec le protocole de routage DSR. Le protocole DSR montre la cohérence dans les performances à faible retard. Donc les performances du DSR sont meilleures que AODV. En conclusion, On peut affirmer pour les trois topologies de réseaux, que le protocole DSR est plus performant et plus adéquat que le protocole AODV.

Conclusion

Dans ce chapitre, les performances du protocole de routage dans les réseaux de capteur sans fil: DSR (Dynamic Source Routing) et AODV (topologique a vecteur de distance) à l'aide du SIMLULATEUR NS-2 (VERSION 2.35) ont été analysées. Chaque protocole a sa propre nature et donne des performances variables. Nous avons constaté que le protocole DSR offre de meilleurs résultats. Les résultats présentés dans notre étude sont conformes à la réalité vu la simulation que nous avons réalisée. De ce fait, on peut conclure que parmi les deux protocoles étudiés DSR répond le mieux au besoin des réseaux de capteur sans fil.

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil sont une nouvelle technologie qui a surgi après les grands progrès technologiques concernant le développement des capteurs, des processeurs puissants et des protocoles de communication sans fil. Ce type de réseau composé de certains ou de milliers d'éléments a pour but la collecte de données de l'environnement, leurs traitements et leurs disséminations vers le monde extérieur. Les applications des réseaux de capteurs sont nombreuses. Elle comprend différents domaines : médicale, agricole, militaire, etc.

Tout au long de notre projet, nous avons constaté que la réalisation d'un RCSF pose de grands défis auxquels il faut répondre ; la fiabilité de ces réseaux est l'un des défis les plus importants à considérer.

L'un des problèmes qu'on peut rencontrer dans ce genre de réseau est le problème de routage et le gaspillage de ressource dont l'énergie. Il est donc important de mettre en place des protocoles de routage et d'optimisation d'énergie pour prolonger la durée de vie du réseau.

Le travail consigné dans ce mémoire a été le fruit d'une recherche menée dans le contexte des RCSF et ce relativement aux problèmes de routage et de gaspillage d'énergie. Pour cela, nous avons présenté une introduction aux réseaux de capteurs sans fil et une étude critique d'un ensemble de protocoles de routage minimisant la consommation d'énergie dans les RCSF.

Dans ce projet nous avons basé sur la simulation des protocoles AODV et DSR avec le simulateur NS-2, nous nous sommes intéressés à l'analyse de leurs performances selon le : le débit, délais, taux de livraison des paquets.

Les deux protocoles ont été étudiés, simulés et comparés dans le scénario qui a donné une vision assez claire sur les contraintes. En effet, les comparaisons entre la simulation prouvent que DSR offre un meilleur délai de bout en bout et livraison du paquet. Pour le débit l'AODV est meilleur. On constate que globalement le DSR est le meilleur protocole convenable pour les réseaux de capteurs afin de garantir la rapidité et la transmission sûre.

Références bibliographies

- [1] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_capteurs_sans_fil
- [2] Mohamed BENZAOUZ. Surveillance de tout point d'une zone d'intérêt à l'aide d'un réseau de capteur multimédia sans fil. Ecole nationale supérieure d'informatique Oued- Smar Alger Algérie - magistère IRM 2013.
- [3] FARES Abdelfatah. Développement d'une bibliothèque de capteurs. Thèse de Master Informatique de l'Université de Montpellier 2. 2008.
- [4] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_ad_hoc
- [5] Salheddine Kabou. État de l'art sur les réseaux de capteurs sans fil. Licence en informatique. Université de Bechar Algérie. 2010.
- [6] <http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/Bunel/Presentation.html#unreseau>
- [7] 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
- [8] 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). 2016.
- [9] YACINE CHALLAL. Réseaux de Capteurs Sans Fils. Support de cours. 04/05/2016
- [10] https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF_14.html
- [11] Messai Mohamed Lamine. Sécurité dans les Réseaux de Capteurs Sans-Fil. Mémoire de Magistère en Informatique. Université Abderrahmane Mira de Bejaia. 2007 / 2008.
- [12] Cédric RAMASSAMY. Analyse des protocoles des Réseaux de capteurs sans fil. DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DES ANTILLES ET DE LA GUYANE. 2012.
- [13] <http://sensors-and-networks.blogspot.com/2011/10/spin-sensor-protocol-for-information.html>
- [14] Boubiche Djallel Eddine. Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil. MEMOIRE DE MAGISTERE EN INFORMATIQUE. Université de l'Hadj Lakhdar- Batna. 2007-2008

- [15] Maouche Zineb, Djermoune Yasmina. Adaptation des architectures P2P pour les applications des réseaux de capteurs sans fil. Thèse de Master. Université A/Mira de Béjaia. 2017
- [16] https://www.researchgate.net/figure/Relay-regions-in-MECN-and-SMECN_fig7_281448467
- [17] YOUSEF Yaser. Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil. Thèse de Doctorat. UNIVERSITE DE HAUTE ALSACE.2010.
- [18] TARIK EL OUAHMANI. ÉTUDE D'UN PROTOCOLE DE ROUTAGE À CONTRÔLE COLLABORATIF ADAPTÉ AUX RÉSEAUX DE VÉHICULES AD-HOC "VANET" APPLIQUÉ EN MILIEU MINIER SOUTERRAIN. MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE.2012.
- [19] Benabdallah Karima. Optimisation d'un protocole de routage AODV dans les Réseaux de capteur sans fil. MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER. Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen.2016-2017.
- [20] Nicolas DAUJEARD-Julien CARSIQUE-Rachid LADJADJ-Akim LALLEMAND- le routage dans les réseaux mobiles Ad hoc - 2002-2003.
- [21] Anelli & E. Horlait. NS-2: Principes de conception et d'utilisation. Version 1.3
- [22] Tahar Chaouch Amel- Benmoumene Abdellah Mahfoudh- Analyse par simulation des performances d'un réseau de capteurs sans fil (WSN)- Master En Télécommunications- Université Djilali Bounaama Khemis Miliana- 2015/2016.