



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET**

# MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE  
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :  
**MASTER**

Spécialité : Réseaux et télécommunication

Par :

**FELLAH KHALED SAMIR**  
**BEHIH MOHAMED**

Sur le thème

---

Analyse les performances d'un routage aléatoire  
sur les réseaux de capteurs sans fil.

---

Soutenu publiquement le 11 /10 / 2021 à Tiaret devant le jury composé de :

Mr BENGHENI ABDELMALEK	MCB Université Tiaret	Président
Mr BEKKAR KHALED	MAA Université Tiaret	Encadreur
Mr ALEM ABDELKADER	MAA Université Tiaret	Examineur

2020-2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## ❧ *Remerciements* ❧

*En premier lieu, nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté de réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions nos parents qui nous ont suivis pendant nos études.*

*Nous remercions Mr. **Bekkar khaled**, notre encadreur, pour son aide, son encouragement, son orientation, et pour ses précieux conseils durant la réalisation de ce travail.*

*Nos remerciements aux membres de jury qui ont accepté de juger notre travail Mr **Bengheni Abdelmalek, Alem Abdelkader**.*

*Nous adressons aussi nos remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseignés durant ce cursus universitaire.*

*Enfin Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements et nos profondes reconnaissances à toutes personnes qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire.*

## *Dédicaces*

Je dédie ce projet :

A mon cher père **Ahmed**

Qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. Merci énormément papa pour ton soutien plus que précieux, merci pour ton grand cœur toutes vos qualités qui seraient trop longues à énumérer. Ma vie ne serait pas aussi magique sans ton présence et ton amour mon papounet d'amour

A ma très chère mère **Nadjia**,

La lumière de mes jours. Tu représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement. Tu as toujours été présente à mes cotés pour me soutenir et m'encourager. Je dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

A mes chers, mon frère **Mohammed** et ma sœur **Amina** pour leurs encouragements permanents et leur appui et leur soutien moral, les mots ne suffisent guère pou exprimé l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous.

A mes chers amis **Rahim**, **Ahmed**, **Nouri**, **Mustapha** pour leurs encouragements continus, leur soutien et leur soutien moral, les mots ne suffisent presque pas pour exprimer

Enfin, a tous ceux qui ont contribué de près ou de loin a la réalisation de se travail.

*Khaleed*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce projet :*

*A mon cher Oncle **Mustapha***

*Qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. Merci énormément papa pour ton soutien plus que précieux, merci pour ton grand cœur toutes vos qualités qui seraient trop longues à énumérer. Ma vie ne serait pas aussi magique sans ton présence et ton amour mon papounet d'amour*

*A ma très chère mère **Nacira***

*La lumière de mes jours. Tu représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement. Tu as toujours été présente à mes cotés pour me soutenir et m'encourager. Je dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.*

*A mes chers, mon frère **Yacine** et ma sœur **Nachoua** pour leurs encouragements permanents et leur appui et leur soutien moral, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous.*

*Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Mohamed*

## ملخص :

تعد تكنولوجيا شبكة الاستشعار حاليًا مجالًا كبيرًا جدًا من الأبحاث وقد كانت موضوعًا للعديد من الدراسات في السنوات الأخيرة. شبكات الاستشعار هي عبارة عن شبكات مكونة من عدد كبير من أجهزة الاستشعار التي تتعاون مع بعضها لتقديم خدمة محددة. المشكلة الرئيسية لهذا النوع من شبكات الاستشعار هي التوجيه وكنتيجه لذلك تم تصميم العديد من بروتوكولات التوجيه لهذه لشبكات. تم استخدام جهاز محاكاة NS-2 لمقارنة أداء البروتوكولات.

**الكلمات المفتاحية:** مستشعر، بروتوكول التوجيه ، شبكة أجهزة الاستشعار اللاسلكية ، تقييم الأداء ، AODV ، DSR ، المحاكاة ، NS2

## Résumé :

La technologie des réseaux de capteurs est actuellement un domaine de recherche très vaste et a fait l'objet de nombreuses études ces dernières années.

Les réseaux de capteurs sont des réseaux d'un grand nombre de capteurs qui coopèrent entre eux pour fournir un service spécifique.

Le problème principal de ce type de réseau de capteurs est le routage et par conséquent de nombreux protocoles de routage sont conçus pour ces réseaux.

Un simulateur NS-2 a été utilisé pour comparer les performances des protocoles.

**Mots clés:** Capteur, Protocoles de routage, Réseaux de capteurs sans fil, Evaluation des performances, AODV, DSR, simulation, NS2

### LISTE DES ABREVIATIONS

<b>AODV</b>	Ad hoc On-demand Distance Vector
<b>BSD</b>	Berkeley Software Distribution License
<b>CBR</b>	Constant Bit Rate
<b>DSDV</b>	Destination-Sequenced Distance-Vector
<b>DSR</b>	Routage à Source Dynamique"
<b>FSR</b>	Fisheye State Routing
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GSM</b>	Global system for mobile communications
<b>HSR</b>	Heavy Slow Resistance
<b>LEACH</b>	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchical
<b>NesC</b>	Langage de programmation
<b>NS2</b>	Network Simulator version 2
<b>OLSR</b>	Optimized Link State Routing Protocol
<b>OTcl</b>	Object Tool Command Langage
<b>RCSF</b>	Réseaux de capteurs sans fil
<b>RREP</b>	Route REPonse
<b>RREQ</b>	Route REQest
<b>TCL-OTCL</b>	Object Tools Command Language
<b>TCP</b>	Transfer control Protocol
<b>TEEN</b>	Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network
<b>VSN</b>	Virtual Service Network
<b>WRP</b>	Wireless Routing Protocol
<b>WSN</b>	Wireless sensor Network
<b>XML</b>	eXtensible Markup Language
<b>ZHLS</b>	Zone-Based Hierarchical Link State

Table des matières

**Introduction Général..... 7**

**Chapitre I: Réseaux de capteurs sans fil**

1.Introduction ..... 10

2.Les réseaux de capteurs sans fil ..... 11

    2.1.Capteur sans fil..... 11

3.Architecture de capteur sans fil..... 12

    3.1.L'unité de capture ..... 13

    3.2.L'unité de traitement..... 13

    3.3.L'unité de transmission..... 13

    3.4.L'unité de contrôle d'énergie ..... 14

4.Caractéristiques des réseaux des captures ..... 14

    4.1.Le système d'exploitation pour RCSF ..... 14

    4.2.Consommation d'énergie dans les RCSF ..... 17

        4.2.1.Energie de capture..... 17

        4.2.2.Energie de traitement ..... 17

        4.2.3.Energie de communication..... 17

5.Ordonnancement de réseaux de capteur ..... 18

6.Déploiement de capteur ..... 19

    6.1.Déploiement déterministe..... 19

    6.2.Déploiement aléatoires ..... 19

7.Architecture d'un RCSF ..... 20

8.Fonctionnement d'un réseau de capteurs ..... 20

9.Domains d'application des réseaux de capteur sans fil..... 21

    9.1.Découverte de catastrophes naturelles ..... 21

    9.2.Détection d'intrusions ..... 21

    9.3.Gestion de stock ..... 21

    9.4.Contrôle de la pollution ..... 21

    9.5.Agriculture ..... 22

9.6.Surveillance médicale.....	22
9.7.Surveillance de barrages.....	22
10. Conclusion.....	23

## **Chapitre II: Routage sur les capteurs sans fil**

1. Introduction .....	25
2. Définition de Routage.....	25
3. Les principaux protocoles de routage sur les RCSF.....	26
3.1.Les Protocoles hiérarchiques.....	27
3.2.Le protocole de routage «LEACH ».....	28
3.3.Les protocoles de routage «PEGASIS & Hierarchical- PEGASIS» .....	28
3.4.Les protocoles de routage «TEEN et APTEEN».....	28
4. Les protocoles de routage proactifs.....	29
4.1.Le protocole de routage «DSDV» .....	30
4.2.Le protocole de routage « FSR ».....	30
4.3.Le protocole de routage « OLSR ».....	31
5.Avantages et les inconvénients des protocoles proactifs .....	31
6.Les protocoles de routage réactifs.....	32
6.1.Le protocole de routage « DSR » .....	32
6.2.Le protocole de routage « AODV » .....	33
7.Avantages et les inconvénients des protocoles réactifs .....	34
8.Conclusion.....	35

## **Chapitre III: Simulations et Analyse des performances**

1. Introduction .....	37
2. Simulateurs réseau Network Simulator NS2.....	37
3. Avantages et inconvénients de la simulation .....	38

## Table des matières

---

4. TCL – OTCL.....	38
5. Environnement de simulation.....	41
6. Gnuplot.....	41
7. La simulation.....	42
8. Conclusion.....	47
Conclusion Générale.....	49
Recherche bibliographe .....	51

Liste Des Figures

**Figure 1.1:** Exemple d'un capteur Micaz ..... 11

**Figure 1.2:** Architecture de capteur sans fil ..... 12

**Figure 1.3:** Schéma représentant l'architecture du TinyOS..... 16

**Figure 1.4:** Trois approches algorithmiques pour l'ordonnancement d'activité  
..... 18

**Figure 1.5:** Schéma général d'un réseau de capteurs ..... 20

**Figure 2.1:** Les principaux protocoles de routages dans les RCSF..... 26

**Figure 2.2:** Topologie hiérarchique..... 27

**Figure 2.3:** Exemple de découverte DSR..... 33

**Figure 2.4:** Les deux requêtes RREQ et RREP en AODV ..... 34

**Figure 3.1:** Modèle de nœuds mobile sous NS2..... 38

**Figure 3.2:** fichier TCL de simulation (protocole ADOV)..... 39

**Figure 3.3:** Exemple de la capture simulation l'exécution du fichier TCL  
(protocole ADOV) ..... 40

**Figure 3.4:** Exemple de scénario la capture simulation (protocole ADOV) . 40

**Figure 3.5:** Paramètre de simulation ..... 42

**Figure 3.6:** La consommation énergétique des trois protocoles ..... 43

**Figure 3.7:** Délai de bout en bout ..... 44

**Figure 3.8:** Taux moyenne de déplacement des paquets ..... 45

**Figure 3.9:** Productivité moyenne ..... 46

Liste Des Tableaux

**Tableau 1.1:** La plate forme logicielle ..... 41

### Introduction Général

Les technologies sans fil , tout comme les autres nouvelles technologies peuvent être avantageuses pour la société surtout dans le domaine des télécommunications Quant à l'environnement sans fil son principal avantage par rapport à l'environnement filaire ce qu'il permet aux utilisateurs une facilité de manipulation des informations à travers des unités de calcul mobiles et une souplesse d'accès ainsi .

On classe les réseaux sans fil en deux catégories: les réseaux avec infrastructure fixe préexistante. Dans cette catégorie une importante infrastructure logistique et matérielle est primordiale pour l'installation du réseau; le modèle cellulaire ( les réseaux GSM par exemple ) est généralement le modèle le plus utilisé comme modèle de la communication .La deuxième catégorie est la catégorie des réseaux sans infrastructure celle des réseaux ad hoc.

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.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les principaux protocoles de routage dans les RCSF, et l'énergie consommée par le nœud, 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.

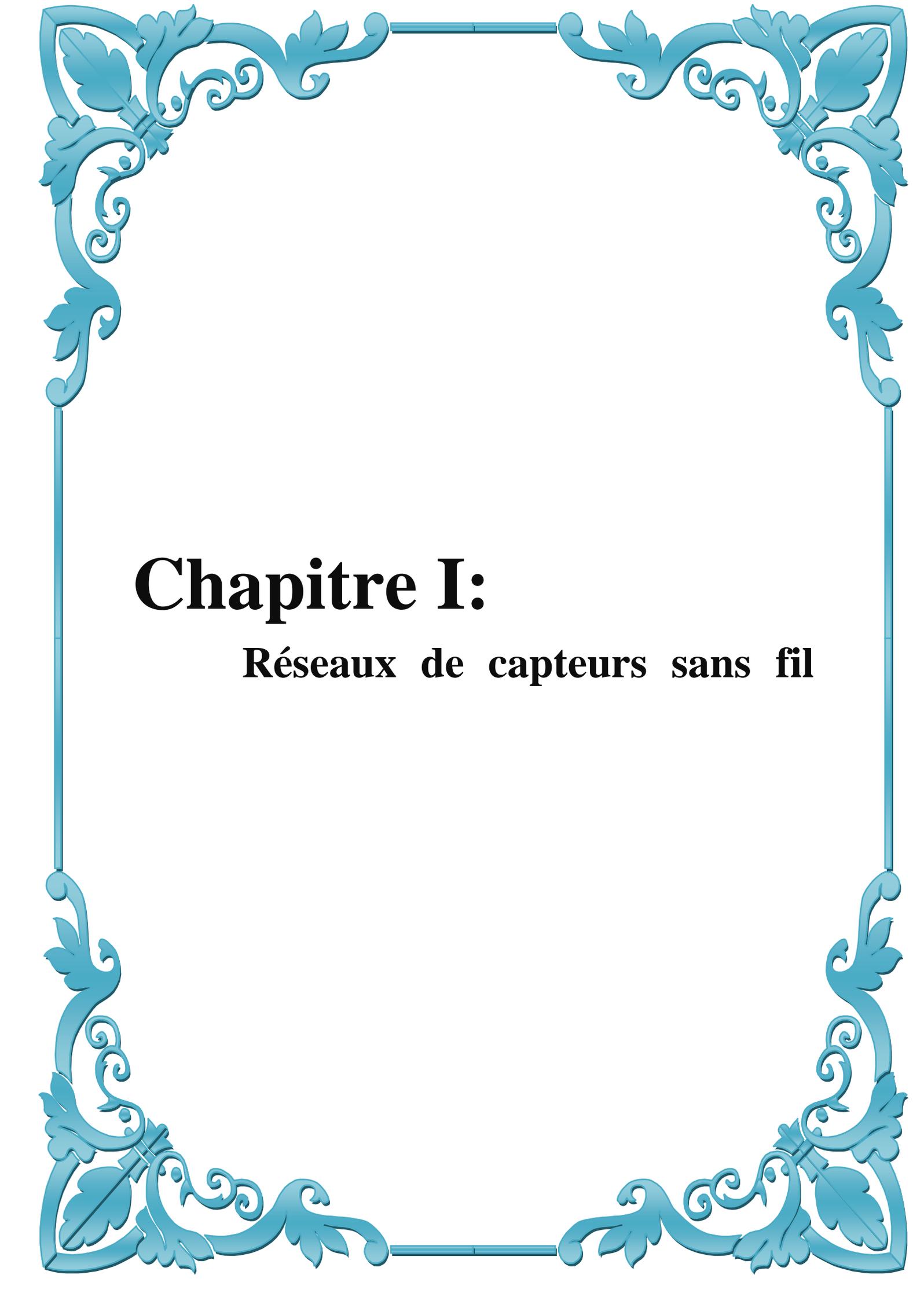
Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

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 RCSF avec leurs classifications.

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

Nous terminons ce travail par une conclusion générale qui résume toutes les définitions et simulations que nous avons proposées.



# **Chapitre I:**

**Réseaux de capteurs sans fil**

**1. Introduction :**

Les capteurs intègres transforment des grandeurs physiques collectés par une unité de capture en grandeurs numériques, une unité de traitement informatique, et de stockage de données et un module de transmission sans fil.

C'est avec ses divers avantages que cette technologie a pu s'instaurer comme un élément Indispensable dans les architectures réseaux. Le média hertzien offre des propriétés uniques, exemple: la facilité et le coût réduit du déploiement, ainsi que l'ubiquité de l'information.

Ce qui forme un réseau de capteurs sans fil c'est l'instauration de plusieurs nœuds capteurs d'une manière autonome, en vu de collecter et transmettre des données environnementales vers un point de collecte, appelé nœud puits (ou sink).

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, exemple: une tension électrique, une hauteur de mercure. Les capteurs se sont des composants de quelques millimètres cubes de volume ce produit est le résultat d'une longue recherche et aussi grâce aux progrès réalisés le dernier temps dans les domaines de la microélectronique, de la micromécanique, et des technologies de communication sans fil.

## **2. Les réseaux de capteurs sans fil:**

Les avancées technologiques récentes confortent la présence de l'informatique et de l'électronique au cœur du monde réel. De plus en plus d'objets se voient ainsi équipés de processeurs et de moyens de communication mobiles, leur permettant de traiter des informations mais également de les transmettre.[1]

Les réseaux de capteurs sans-fil entrent dans ce cadre. En effet, ceux-ci sont constitués d'un ensemble de petits appareils, ou capteurs, possédant des ressources particulièrement limitées, mais qui leur permettent néanmoins d'acquérir des données sur leur environnement immédiat, de les traiter et de les communiquer.

### **2.1. Capteur sans fil:**

Les capteurs sont des dispositifs de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capable de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité (capteurs, unité de traitements...) sur une distance limitée à quelques mètres.[1]



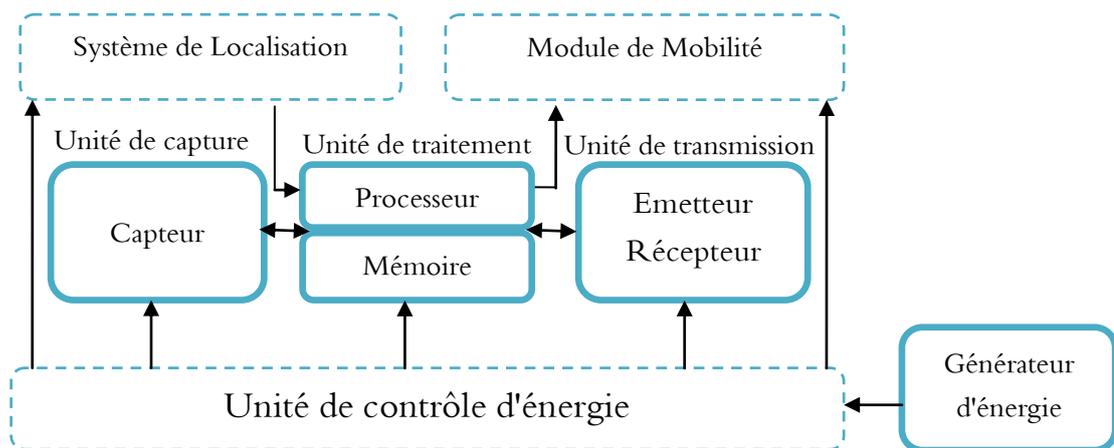
**Figure 1.1:** Exemple d'un capteur Micaz

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, le réseau se trouve entièrement couvert.[1]

**3. Architecture de capteur sans fil:**

Un nœud capteur contient quatre unités de base : l'unité de capture ou d'acquisition, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie. Il peut contenir également, suivant son domaine d'application, des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation comme GPS (Global Positioning System), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire). On peut même trouver des capteurs, un peu plus volumineux, dotés d'un module de mobilité chargé de déplacer le nœud en cas de nécessité. [2]



**Figure 1.2:** Architecture de capteur sans fil

On peut voir sur la Figure1.2 les différents composants qui constituent un capteur, Pour être plus précis chaque groupe de composants possède son propre rôle.

**3.1. L'unité de capture :**

Elle est composée de deux sous unités d'un capteur qui va obtenir des mesures sur les paramètres environnementaux et d'un convertisseur Analogique/Numérique qui va convertir l'information relevée (en signal analogique) et la transmettre à l'unité de traitement (en signal numérique)[3].

**3.2. L'unité de traitement :**

Elle dispose de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de transmission. Cette unité comprend un processeur associé généralement à une petite unité de stockage et fonctionne à l'aide d'un système d'exploitation spécialement conçu pour les micro-capteurs (Tiny OS par exemple) [4]. Elle Obtient les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de transmission. L'unité de traitement est chargée également d'exécuter les protocoles de communications qui permettent de faire collaborer le nœud avec les autres nœuds du réseau. Elle peut aussi analyser les données captées pour alléger la tâche du nœud puits (sink).

**3.3. L'unité de transmission :**

L'unité de transmission est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio. Elle peut être de type optique, ou de type radio-fréquence. Les communications de type optique sont robustes vis-à-vis des interférences électriques. Néanmoins, elles présentent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre les entités communicantes. Par conséquent, elles ne peuvent pas établir de liaisons à travers des obstacles. Tandis que Les communications de type radio-fréquence (MICA Par exemple ) [5] sont beaucoup plus gourmandes en terme d'énergie.

### **3.4. L'unité de contrôle d'énergie :**

Les trois unités précédentes sont alimentées par une ressource énergétique (généralement une batterie) en conséquence de sa taille réduite, la ressource énergétique dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable, ce qui influe directement sur la durée de vie du réseau entier, cette unité est responsable de répartir l'énergie disponible aux autres modules et de réduire les dépenses en mettant en veille les composants inactifs par exemple. Elle peut aussi gérer des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement observé telles que les cellules solaires, afin d'étendre la durée de vie totale du réseau.[3]

## **4. Caractéristiques des réseaux des captures:**

### **4.1. Le système d'exploitation pour RCSF : TinyOS**

TinyOS est un système d'exploitation open-source conçu pour des réseaux de capteurs sans fil. Il respecte une architecture basée sur une association de composants, réduisant la taille du code nécessaire à sa mise en place. Cela s'inscrit dans le respect des contraintes de mémoires qu'observent les réseaux de capteurs.

Pour autant, la bibliothèque de composant de TinyOS est particulièrement complète puisqu'on y retrouve des protocoles réseaux, des pilotes de capteurs et des outils d'acquisition de données. L'ensemble de ces composants peut être utilisé tel quel, il peut aussi être adapté à une application précise. [6]

En s'appuyant sur un fonctionnement événementiel, TinyOS propose à l'utilisateur une gestion très précise de la consommation du capteur et permet de mieux s'adapter à la nature aléatoire de la communication sans fil entre interfaces physiques.

**Disponibilité et sources:** TinyOS est un système principalement développé et soutenu par l'université américaine de Berkeley, qui le propose en téléchargement sous la licence BSD (Berkeley Software Distribution

License) et en assure le suivi. Ainsi, l'ensemble des sources sont disponibles pour de nombreuses cibles matérielles.

**Event-driven :** Le fonctionnement d'un système basé sur TinyOS s'appuie sur la gestion des évènements se produisant. Ainsi, l'activation de tâches, leur interruption ou encore la mise en veille du capteur s'effectue à l'apparition d'évènements, ceux-ci ayant la plus forte priorité. Ce fonctionnement évènementiel (event-driven) s'oppose au fonctionnement dit temporel (time-driven) où les actions du système sont gérées par une horloge donnée. [7,8]

**Langage :** Comme nous l'avons évoqué plus haut, TinyOS a été programmé en langage NesC.

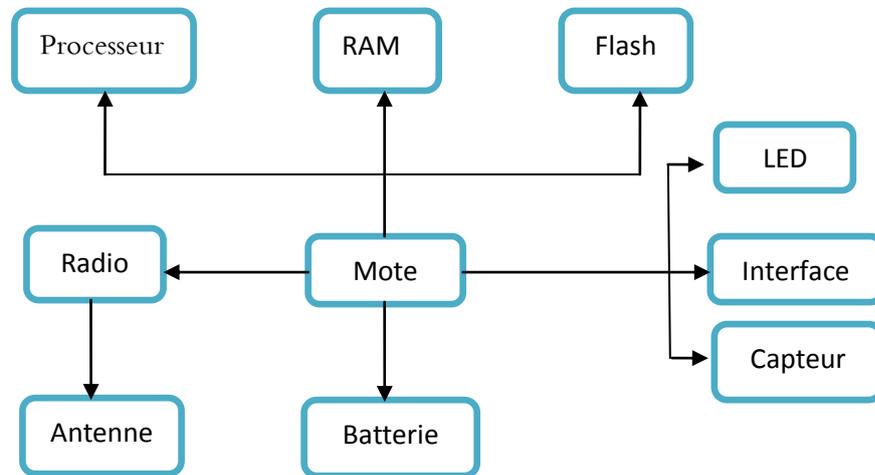
**Préemptif :** Le caractère préemptif d'un système d'exploitation précise si celui-ci permet l'interruption d'une tâche en cours. TinyOS ne gère pas ce mécanisme de préemption entre les tâches mais donne la priorité aux interruptions matérielles. Ainsi, les tâches entre elles ne s'interrompent pas mais une interruption peut stopper l'exécution d'une tâche.

**Temps réel :** Lorsqu'un système est dit « temps réel » celui-ci gère des niveaux de priorité dans ses tâches permettant de respecter des échéances données par son environnement. Dans le cas d'un système strict, aucune échéance ne tolère de dépassement contrairement à un système temps réel mou. TinyOS se situe au-delà de ce second type car il n'est pas prévu pour avoir un fonctionnement temps réel.

**Consommation :** TinyOS a été conçu pour réduire au maximum la consommation en énergie du capteur. Ainsi, lorsqu'aucune tâche n'est active, il se met automatiquement en veille . Cibles de TinyOS :

Il existe de nombreuses cibles possibles pour ce système d'exploitation embarqué. Malgré leurs différences, elles respectent toutes globalement la même architecture basée sur un noyau central autour duquel s'articulent les

différentes interfaces d'entrée-sortie, de communication et d'alimentation. Voici un schéma représentant cette architecture :



**Figure 1.3:** Schéma représentant l'architecture du TinyOS

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

**Radio et antenne :** TinyOS est prévu pour mettre en place des réseaux sans fil, les équipements étudiés sont donc généralement équipés d'une radio ainsi que d'une antenne afin de se connecter à la couche physique que constitue les émissions hertziennes.

**LED, interface, capteur :** TinyOS est prévu pour mettre en place des réseaux de capteurs, on retrouve donc des équipement bardés de différents types de détecteurs et autres entrées.

**Batterie :** Comme tout dispositif embarqué, ceux utilisant TinyOS sont pourvus d'une alimentation autonome telle qu'une batterie[6].

## **4.2. Consommation d'énergie dans les RCSF:**

La première étape dans la conception de système énergétique de capteurs consiste à analyser les caractéristiques de consommation d'énergie d'un nœud de capteur sans fil. Cette analyse systématique de l'énergie d'un nœud capteur est extrêmement importante pour identifier les problèmes dans le système énergétique pour permettre une optimisation efficace.

L'énergie consommée par un capteur est principalement due aux opérations suivantes : la détection, le traitement et la communication [9].

### **4.2.1. Energie de capture:**

Les sources de consommation d'énergie des nœuds pour les opérations de détection ou de capture sont : l'échantillonnage, la conversion analogique-numérique, le traitement de signal et l'activation de la sonde de capture [10].

### **4.2.2. Energie de traitement:**

L'énergie de traitement est composée de deux sortes d'énergie: l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel). Par contre, l'énergie de fuite correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. En général, l'énergie de traitement est faible par rapport à celle nécessaire pour la communication [10].

### **4.2.3. Energie de communication:**

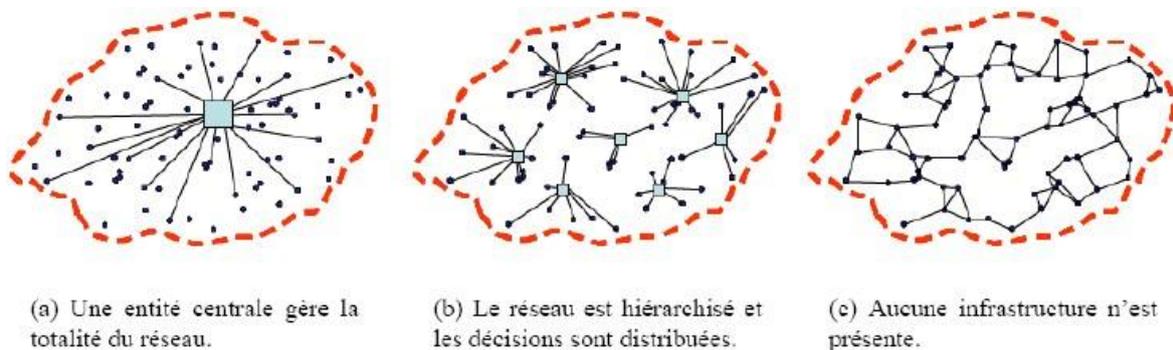
L'énergie de communication se décline en trois parties : l'énergie de réception, l'énergie de l'émission et l'énergie en état de veille. Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission, ainsi que par les propriétés physiques du module radio. L'émission d'un signal est caractérisée par sa puissance ; quand la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée. Notons que l'énergie de communication

représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un nœud capteur.[10]

## 5. Ordonnancement de réseaux de capteur

Les réseaux de capteurs sont généralement denses et redondants. En effet, suivant l'application, on déploiera plus ou moins des capteurs dans un souci d'allongement de la durée de vie de l'application. À tout moment, il existe donc des capteurs qui observent une même portion de la zone de déploiement.

Cette redondance est exploitée par l'ordonnancement d'activité : Ordonnancer l'activité dans un réseau de capteurs consiste à alterner les charges de façon à épuiser les nœuds équitablement. Pendant qu'une partie participe à l'application, les autres sont dans un mode passif, économisant ainsi leur énergie.



**Figure 1.4:** Trois approches algorithmiques pour l'ordonnancement d'activité

L'ordonnancement d'activité peut se faire de diverses façons. Nous distinguons ici les approches centralisées (où une entité centrale connaît chaque nœud et est capable d'influer sur chacun pour lui assigner ses tâches) des approches hiérarchiques (une vision hiérarchisée du réseau où l'autorité centrale est démultipliée selon plusieurs entités responsables d'une sous-partie

du réseau) et des approches localisées, par conséquent totalement décentralisées, dans lesquelles un comportement global cohérent doit être obtenu à partir de décisions prises localement.

## **6. Déploiement de capteur:**

Les capteurs sont au préalable déployés sur une zone à surveiller. Pour satisfaire de nouvelles contraintes ou pour pallier des pannes, un déploiement de nœuds supplémentaires, dit itératif, peut être requis. Différents modes de déploiement sont envisageables et dépendent essentiellement de l'application de surveillance. Une fois déployés, nous supposons que les capteurs sont statiques.

### **6.1. Déploiement déterministe:**

Lorsque l'environnement est accessible ou connu, il est possible de placer précisément les nœuds sur la zone. Dans le problème que nous étudions, il est alors possible de programmer leurs activités au préalable. C'est ainsi, par exemple, que sont mis en place les capteurs chargés de réguler la climatisation d'un immeuble ou de surveiller les constantes médicales de malades à distance. On parle alors de déploiement déterministe.

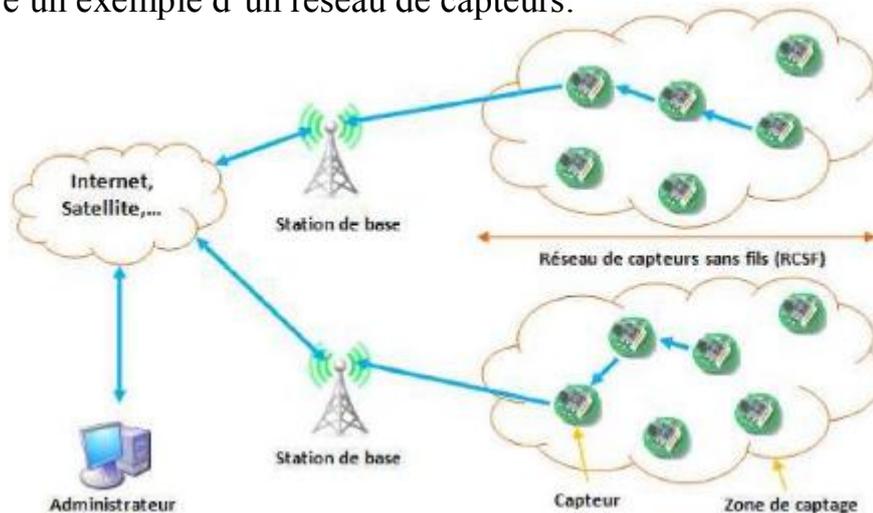
### **6.2. Déploiement aléatoires:**

L'utilisation des capteurs dans des zones inaccessibles ou sensibles rend impossible un déploiement déterministe, au cours duquel chaque objet serait placé à une position prédéterminée.

Les nœuds peuvent alors être déployés à l'aide de moyens divers. Il a souvent été question d'un déploiement aléatoire des capteurs, effectué comme un jeté de graines. Il semble pourtant difficile, vu la fragilité des capteurs existants, d'envisager un déploiement par avion par exemple. Néanmoins, un déploiement aléatoire peut être obtenu à partir d'une distribution de capteurs à des individus. Dans ce travail, nous supposerons des réseaux déployés aléatoirement. Une fois disséminés, il est couramment admis que les capteurs sont statiques.

## 7. Architecture d'un RCSF:

Tous les capteurs respectent globalement la même architecture basée sur un noyau central autour duquel s'articulent les différentes interfaces d'entrée-sortie, de communication et d'alimentation [11,12]. La figure 05 montre un exemple d'un réseau de capteurs.



**Figure 1.5:** Schéma général d'un réseau de capteurs

Un RCSF est composé d'un ensemble de nœuds capteurs qui sont organisés en champs «Sensor Fields». Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter des données et de les transférer au nœud passerelle par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le nœud passerelle transmet ensuite ces données par Internet ou par satellite à l'ordinateur central «Gestionnaire de tâches» pour analyser ces données et prendre des décisions.

## 8. Fonctionnement d'un réseau de capteurs:

Les données captées par les nœuds sont acheminées grâce à un routage multi-saut à un nœud considéré comme un "point de collecte" appelé nœud-puits (ou sink). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet, un satellite ou un autre système. L'utilisateur peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, précisant le type de données requises pour récolter les données environnementales captées par le biais du nœud-puits.

**9. Domaines d'application des réseaux de capteur sans fil :**

La diminution de taille et de coût des micro-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. Les RCSF peuvent être utilisés dans plusieurs applications [13] Parmi elles, nous citons :

**9.1. Découverte de catastrophes naturelles:**

On peut créer un réseau autonome en dispersant les nœuds dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tels que les feux de forêts, les tempêtes ou les inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours [14].

**9.2. Détection d'intrusions:**

En plaçant à différents points stratégiques des capteurs, on peut ainsi prévenir des cambriolages ou des passages de gibier sur une voie de chemin de fer (par exemple) sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo.

**9.3. Gestion de stock:**

On pourrait imaginer devoir stocker des denrées nécessitant un certain taux d'humidité et une certaine température. Dans ces applications, le réseau doit pouvoir collecter ces différentes informations et alerter en temps réel si les seuils critiques sont dépassés.

**9.4. Contrôle de la pollution:**

Des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel offrent la possibilité de détecter et de contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettent de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe [15].

**9.5. Agriculture :**

Des nœuds peuvent être incorporés dans la terre et on peut interroger le réseau sur l'état du champ et déterminer par exemple les secteurs les plus secs afin de les arroser en priorité. 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.

**9.6. Surveillance médicale:**

En implantant sous la peau de mini capteurs vidéo, on peut recevoir des images d'une partie du corps en temps réel sans aucune chirurgie. On peut ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle [16].

**9.7. Surveillance de barrages :**

On peut inclure sur les parois des barrages des capteurs qui permettent de calculer en temps réel la pression exercée. Il est donc possible de réguler le niveau d'eau si les limites sont atteintes. On peut aussi imaginer inclure des capteurs entre les sacs de sables formant une digue de fortune. La détection rapide d'infiltration d'eau peut servir à renforcer le barrage en conséquence. Cette technique peut aussi être utilisée pour d'autres constructions tels que ponts, voies de chemins de fer, routes de montagnes, bâtiments et autres ouvrages d'art.

**10. Conclusion:**

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons défini ce qu'est un réseau de capteurs sans fil que nous avons considéré comme un type particulier de réseau ad hoc. Puis, nous avons décrit brièvement un réseau de capteur, ses applications, son architecture

Les RCSF possèdent des caractéristiques particulières qui les différencient des autres types de réseaux sans fil. Ces spécificités telles que la consommation d'énergie réduite, la scalabilité ou le routage incitent le besoin de concevoir de nouveaux protocoles d'accès au support, de routage, de sécurité, de transport ou d'application, qui s'adapteront aux caractéristiques des RCSF.



# **Chapitre II:**

**Routage sur les capteurs sans fil**

## **1. Introduction**

Dans les RCSF, les capteurs sont déployés en grand nombre pour surveiller un tel phénomène et faire remonter l'information à un centre de contrôle distant. Pour atteindre cette finalité, les capteurs ont la capacité de communiquer et collaborer entre eux pour acheminer l'information collectée à la station de base en garantissant sa fiabilité et en empruntant le plus court chemin entre le nœud qui a détecté ce phénomène et la station de base. Cette opération est basée sur le processus de routage.[17]

Ces dernières années plusieurs protocoles de routage pour les réseaux ad hoc ont été développés, ces protocoles essayent de maximiser les performances en minimisant le délai de livraison des paquets, l'utilisation de la bande passante et la consommation d'énergie.

## **2. Définition de Routage :**

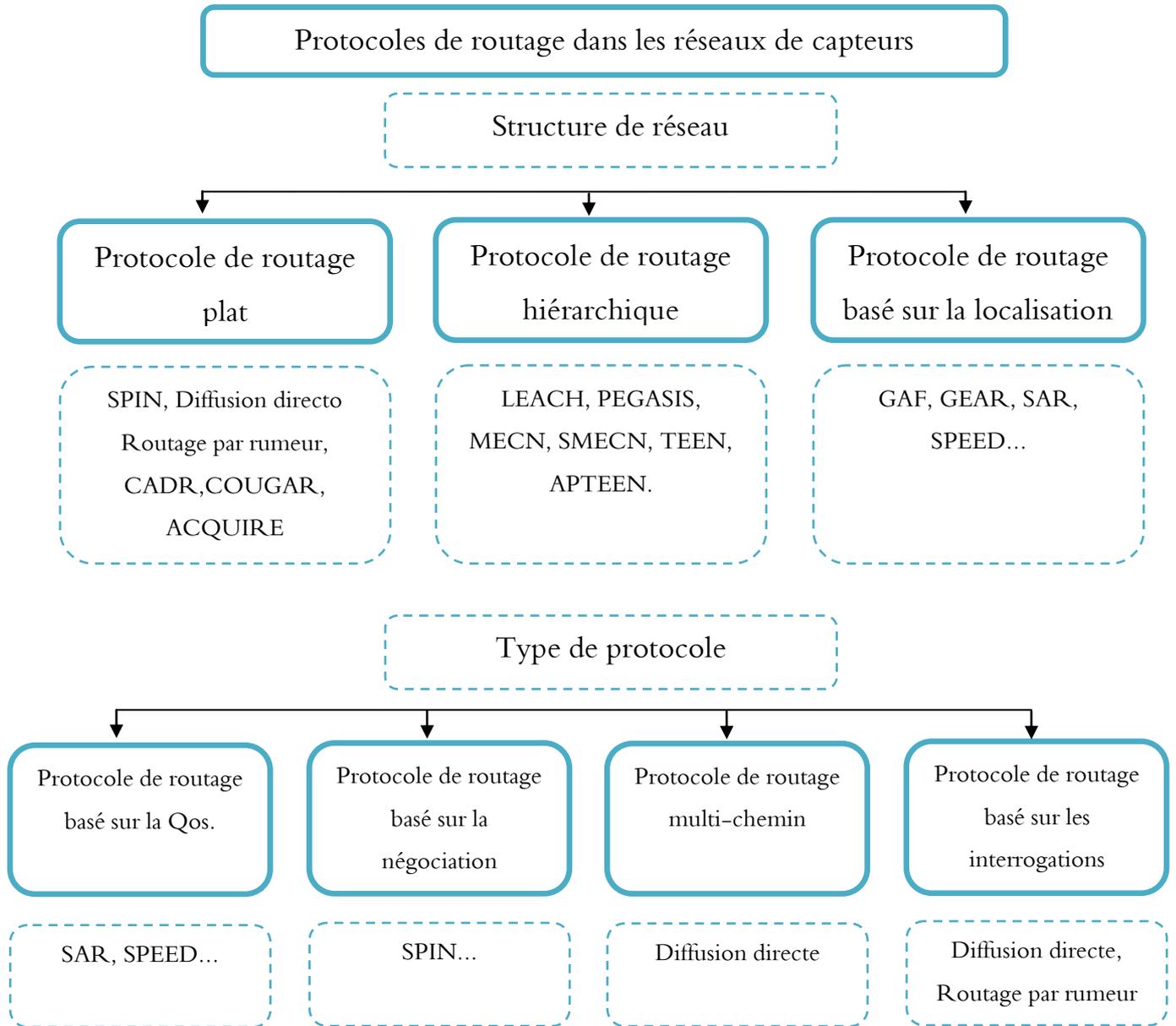
Le routage est un processus qui permet de sélectionner des chemins dans un réseau pour transmettre des données depuis un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. On parle de routage dans différents domaines : réseaux téléphoniques et réseaux de transports.[18]

Le routage est le mécanisme par lequel des chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'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.[19]

Le terme routage désigne l'ensemble des mécanismes mis en œuvre dans un réseau pour déterminer les routes qui vont acheminer les paquets d'un terminal émetteur à un terminal récepteur.[20]

3. Les principaux protocoles de routage sur les RCSF :

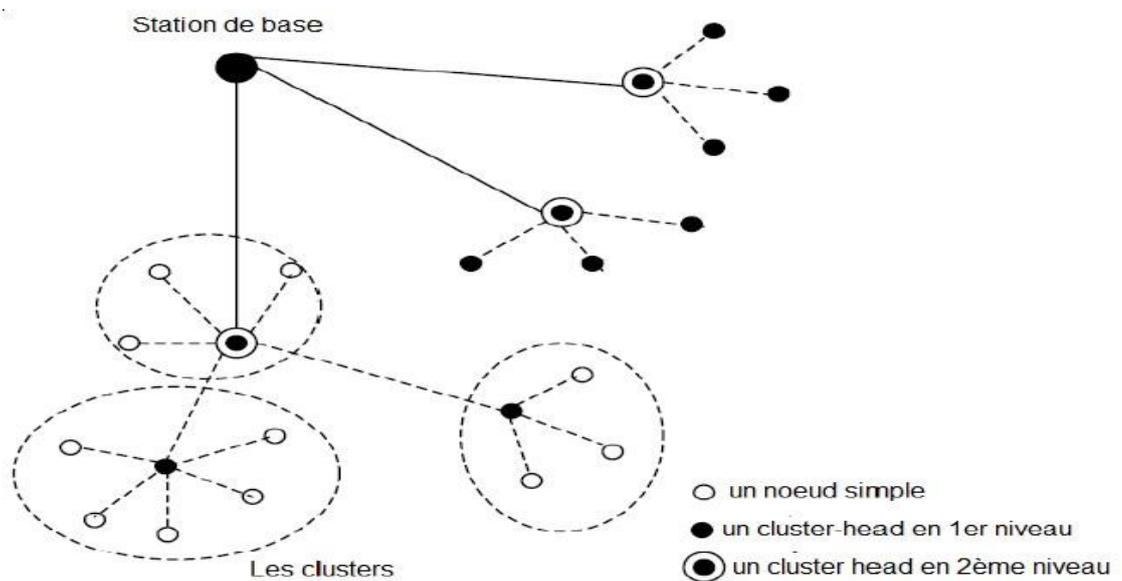
La figure suivante résume les principaux protocoles de routage



**Figure 2.1:** Les principaux protocoles de routages dans les RCSF [20]

### 3.1. Les Protocoles hiérarchiques :

L'objectif principal du routage hiérarchique [22,23] est de maintenir efficacement la consommation d'énergie de nœuds de capteurs en les impliquant dans la communication multi-hop au sein d'un cluster et en effectuant l'agrégation et la fusion des données afin de diminuer le nombre de messages transmis à la destination. La formation de clusters est généralement fondée sur la réserve d'énergie des capteurs et sur les capteurs qui sont à proximité de cluster-head (voir figure 2.2). LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchical) [21] est l'une de premières approches de routage pour les réseaux de capteurs. L'idée proposée par LEACH a été une inspiration pour de nombreux protocoles de routage hiérarchique, bien que certains protocoles aient été développés de manière indépendante.



**Figure 2.2:** Topologie hiérarchique

### 3.2. Le protocole de routage «LEACH » :

LEACH est l'un des algorithmes de routage hiérarchique le plus populaire pour les réseaux de capteurs [10]. 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. 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.

### 3.3. Les protocoles de routage «PEGASIS & Hierarchical-PEGASIS» :

Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS) est une version améliorée du protocole LEACH. PEGASIS forme des chaînes plutôt que des clusters de nœuds de capteurs afin que chaque nœud transmette et reçoive uniquement des données d'un voisin. Un seul nœud est sélectionné à partir de cette chaîne pour transmettre à la station de base. L'idée de PEGASIS est qu'il utilise tous les nœuds pour transmettre ou recevoir des données avec ses plus proches voisins. Il déplace les données reçues de nœud à nœud, puis les données seront agrégées jusqu'à ce qu'elles atteignent tous la station de base. Donc, chaque nœud du réseau est tour à tour un chef de file de la chaîne, ainsi que responsable pour transmettre l'ensemble des données recueillies et fusionnées par la chaîne de nœuds au niveau de la station de base [24].

### 3.4. Les protocoles de routage «TEEN et APTEEN» :

Les protocoles Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network Protocol (TEEN) [25] et Adaptive Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network Protocol (APTEEN)[26] conviennent pour les applications critiques. Dans les deux protocoles, le facteur clé est la valeur de l'attribut mesuré. La caractéristique supplémentaire d'APTEEN est la capacité de

changer la périodicité et les paramètres de TEEN en fonction des besoins des utilisateurs et des applications.

TEEN est conçu pour être sensible à des changements soudains des attributs tels que la température. La réactivité est importante pour les applications critiques dont le réseau fonctionne dans un mode réactif. L'architecture du réseau de capteurs est basée sur un groupement hiérarchique où les nœuds forment des clusters et ce processus va se répéter jusqu'à ce que la station de base soit atteinte[22].

APTEEN est une extension de TEEN qui fait à la fois la collection des captures périodique de données et qui réagit aux événements critiques. Quand la station de base forme des clusters, les clusters head diffusent les attributs, les valeurs des seuils, ainsi que le calendrier de transmission à tous les nœuds. Le cluster-head effectue également l'agrégation de données afin d'économiser l'énergie.

#### **4. Les protocoles de routage proactifs :**

Les protocoles de routage proactifs essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles au niveau de chaque nœud du réseau. Les routes sont sauvegardées même si elles ne sont pas utilisées. La sauvegarde permanente des chemins de routage permet le maintien à jour d'une table de routage dans chaque nœud, ceci est assurée par un échange continu des messages de mise à jour des chemins, ce qui induit un contrôle excessif surtout dans le cas des réseaux de grande taille.

Deux principales méthodes sont utilisées dans ce type de routage, la méthode Etat de Lien ("Link State") et la méthode du Vecteur de Distance ("Distance Vector")[27].

Les protocoles basés sur ce principe sont : DSDV, WRP, OLSR, FSR, HSR, ZHLS.

**4.1. Le protocole de routage «DSDV»:**

Destination Sequence Distance Vector (DSDV) est un protocole proactif unicast mobile ad hoc qui est basé sur l'algorithme de Bellman-Ford[28]. Dans les tables de routage de DSDV on trouve :

- ❖ Toutes les destinations possibles.
- ❖ Le nombre de nœuds (ou de sauts) nécessaire pour atteindre la destination.
- ❖ Le numéro de séquences (SN : sequence number) qui correspond à un nœud destination.

Les numéros de séquence sont utilisés dans DSDV pour distinguer les anciennes et nouvelles routes et pour éviter la formation de boucles de parcours. Chaque nœud transmet périodiquement des mises à jour, y compris des informations de routage à ses voisins immédiats.

**4.2. Le protocole de routage « FSR » :**

Le protocole FSR (Fisheye State Routing) [29] est basé sur l'utilisation de la technique "oeil de poisson" (fisheye) et utilisé dans le but de réduire le volume d'information nécessaire pour représenter les données graphiques [30,31]. Dans la pratique, l'oeil 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.

### 4.3. Le protocole de routage « OLSR » :

Le protocole OLSR (Optimized Link State Routing Protocol)[32] est un protocole proactif basé sur un algorithme de type « état des liens ». Alors que dans un protocole à état de lien, chaque nœud déclare ses liens directs avec ses voisins à tout le réseau, dans le cas d'OLSR, les nœuds ne déclarent qu'une sous-partie de leur voisinage grâce à la technique des relais multipoints. Ils consistent essentiellement, en un nœud donné, à ignorer un ensemble de liens et de voisins directs, qui sont redondants pour le calcul des routes de plus court chemin. Plus précisément, dans l'ensemble des voisins d'un nœud, seul un sous-ensemble des ces voisins est considéré comme pertinent. Ils sont choisis de façon à pouvoir atteindre tout le voisinage à deux sauts (tous les voisins des voisins). Cet ensemble est appelé l'ensemble des relais multipoints.

Ces relais multipoints sont utilisés de deux façons : pour diminuer le trafic dû à la diffusion des messages de contrôle dans le réseau et aussi pour diminuer le sous-ensemble des liens diffusés à tout le réseau puisque les routes sont construites à base des relais multipoint. La diffusion d'un message à tout le réseau, par répétition, peut se faire par l'inondation classique : un nœud retransmet un message si et seulement si il ne l'a pas déjà reçu. La diffusion par relais multipoints diminue le nombre de retransmissions en utilisant la règle suivante : un nœud retransmet un message si et seulement si

1. il ne l'avait pas déjà reçu
2. il vient de le recevoir d'un nœud dont il est un relais multipoint.

### 5. Avantages et les inconvénients des protocoles proactifs

Avec un protocole proactif, les routes sont disponibles immédiatement, ainsi l'avantage d'un tel protocole est le gain de temps lors d'une demande de route. Le problème est que, les changements de routes peuvent être plus fréquents que la demande de la route et le trafic induit par les messages de contrôle et de mise à jour des tables de routage peut être important et

partiellement inutile, ce qui gaspille la capacité du réseau. De plus la taille des tables de routage croît linéairement en fonction du nombre de nœud[33].

## **6. Les protocoles de routage réactifs:**

Les protocoles de routage réactifs (dits aussi : protocoles de routage à la demande), représentent les protocoles les plus récents proposés dans le but d'assurer le service du routage dans les réseaux sans fil.

Ces protocoles se basent sur la découverte et le maintien des routes. Suite à un besoin, une procédure de découverte globale de routes est lancée. Ce processus s'arrête une fois la route trouvée ou toutes les possibilités sont examinées. Dès que la communication est établie, cette route est maintenue jusqu'à ce que la destination devienne inaccessible ou jusqu'à ce que la route ne soit plus désirée. Parmi les protocoles basés sur ce principe on cite : DSR, AODV, ABR, LAR ...etc.[34]

### **6.1. Le protocole de routage « DSR »:**

Le protocole "Routage à Source Dynamique" (DSR) [35] 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 lesquelles les paquets de données seront envoyés.

Un site initiateur de l'opération de « découverte de routes » diffuse un paquet requête de route. Si l'opération de découverte est réussie, l'initiateur reçoit un paquet réponse de route qui liste la séquence de nœuds à travers lesquelles la destination peut être atteinte. Le paquet requête de route contient donc un champ enregistrement de route dans lequel sera accumulée la séquence des nœuds visités durant la propagation de la requête dans le réseau.

L'utilisation de la 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.

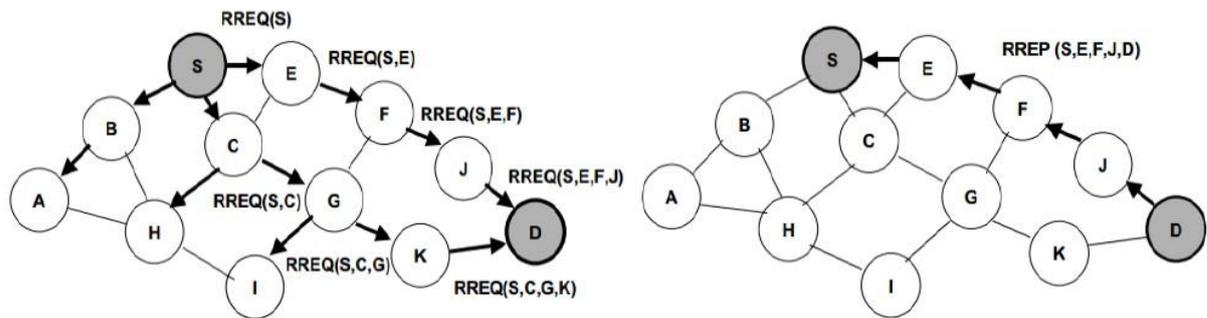
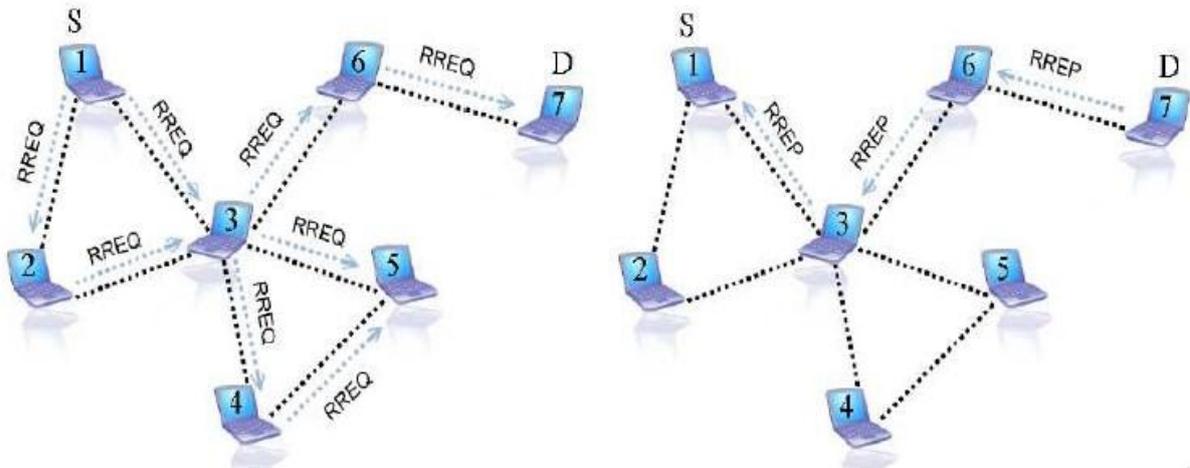


Figure 2.3: Exemple de découverte DSR

6.2. Le protocole de routage « AODV » :

Le protocole AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector)[34] représente essentiellement une amélioration de l'algorithme DSDV dans le contexte réactif. Il est spécialement conçu pour les réseaux mobiles pour créer et découvrir les liaisons entre la source et la destination [37,38]. Il est utilisé pour des routages unicast et multicast en utilisant des requêtes de type (**route request / route reply**).

Avec AODV, chaque nœud a une table de routage qui donne des informations sur ses voisins, la table joue un rôle dans le choix d'un voisin qui va transmettre les paquets de la source vers la destination. Lorsque la source a des données à envoyer vers une destination, elle diffuse une requête de type Route Request (RREQ). Lorsque le nœud reçoit RREQ, il met à jour ses informations pour le nœud source et il ajoute une nouvelle route valide à sa table de routage pour atteindre la source qui a envoyé RREQ. Lorsque RREQ arrive à la destination, celle ci génère une réponse de type Route Reply (RREP). RREP est renvoyé vers la source comme le montre la figure09. Chaque nœud possède un numéro de séquence qui permet de choisir la route la plus récente et de maintenir la consistance des informations de routage.[34]



**Figure 2.4:** Les deux requêtes RREQ et RREP en AODV

Avec AODV, s'il existe plusieurs routes possibles de la source vers la destination, AODV choisit la route la plus courte (la route où il y a un minimum de sauts). Si un tour de routage échoue, la source relance un nouveau RREQ avec un temps T plus important. Si plusieurs séries de Route Request échouent, alors aucune route ne peut être trouvée.[41,40].

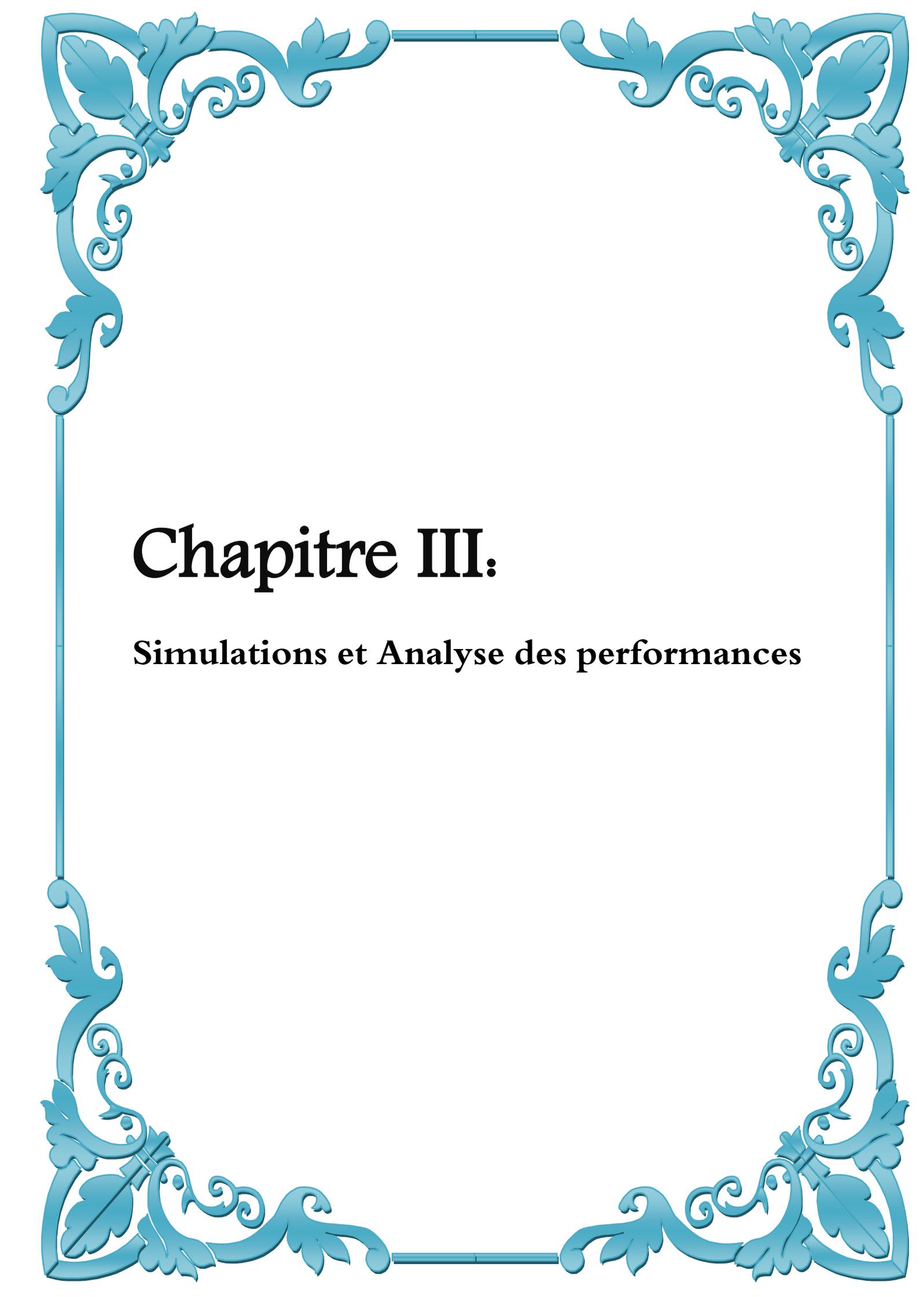
### 7. Avantages et les inconvénients des protocoles réactifs

A l'opposé des protocoles proactifs, dans les protocoles réactifs aucun message de contrôle ne change le réseau pour des routes inutilisées ce qui permet de préserver les ressources du réseau (bande passante). Mais la mise en place d'une route par inondation peut être coûteuse, Et provoque des délais importants avant l'ouverture de la route et les retards dépassent bien souvent les délais moyens admis par les logiciels, ce qui provoque une erreur et impossibilité de se connecter alors que le nœud est là et la route existe.[41]

**8. Conclusion:**

Dans ce chapitre nous avons mis l'accent sur les principaux protocoles de routage aléatoire capteur sans fil. Nous avons résumé les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs et classé les approches en deux catégories: routage proactifs et routage réactifs. Chacun d'eux se compose de plusieurs protocoles.

Dans le chapitre suivant nous allons simuler et analyser les performances de routage aléatoire capteur sans fil.



# Chapitre III.

**Simulations et Analyse des performances**

### **1. Introduction :**

L'objectif principal de ce chapitre est l'étude et l'évaluation des performances des protocoles de routage appliqués aux réseaux de capteurs sans fil tels qu'(DSDV, AODV) pour ce la on présente la simulation des protocoles de routage RCSR, après nous définissons ces protocoles et leurs principes de fonctionnement, ensuite nous présentons les résultats de simulation obtenus pour ce type de réseau, nous exposant aussi comment effectuer la simulation de ces protocoles par le simulateur NS-2 afin de calculer des critères d'évaluations. Enfin l'interprétation et l'évaluation des résultats de simulation.

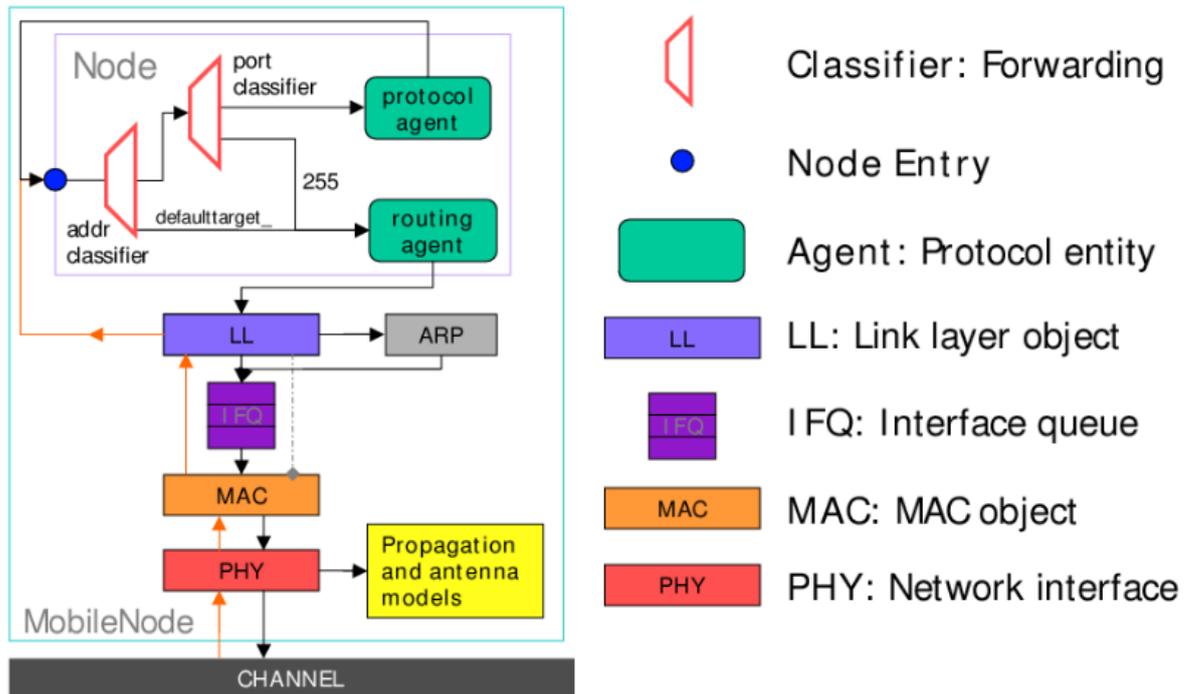
### **2. Simulateurs réseau Network Simulator NS2:**

NS-2 est un logiciel de simulation open source gratuit (libre) à événements discrets. Il est développé dans le cadre du projet VINT qui regroupe plusieurs laboratoires de recherche comme AT&T institut de recherche à Berkeley (ACIRI), Xerox PARC et Sun Microsystems.

Ce simulateur est développé en C++ et OTCL, utilise le langage TCL comme langage de création des scénarios de simulation. Supporte les réseaux sans fil et filaires, avec plusieurs protocoles des différentes couches (Physique, MAC, réseaux, transport ... etc.).[42]

Par sa possibilité d'extension, NS2 est le simulateur le plus utilisé dans le domaine de recherche pour les tests des nouveaux protocoles proposés. Pour plus d'information sur NS2 ou sur son installation, veuillez consulter

Les utilisateurs peuvent proposer des améliorations sur chacun des modules qui composent le modèle de nœuds dans la figure 10. Une nouvelle version du simulateur Network Simulator, nommée NS3 a été développée depuis 2014.



**Figure 3.1:** Modèle de nœuds mobile sous NS2

### 3. Avantages et inconvénients de la simulation

Nous trouvons aussi dans la simulation et les avantages et les inconvénients : [43].

#### Avantage :

- Observations des états du système.
- Etudes des points de fonctionnement d'un système.
- Etudes de l'impact des variables sur les performances du système.
- Etude d'un système sans les contraintes matérielle

#### Inconvénients :

- La conception de modèles peut nécessiter des compétences spéciales.
- Résultats pas forcément généralisable.

### 4. TCL - OTCL :

TCL est un langage conçu pour une utilisation par un développeur de l'application qui peut être participé à travers une demande ou pourrait être

utilisé par une application de diverses manières, par exemple, pour permettre à un utilisateur de fournir une initialisation personnalisée pour l'application.

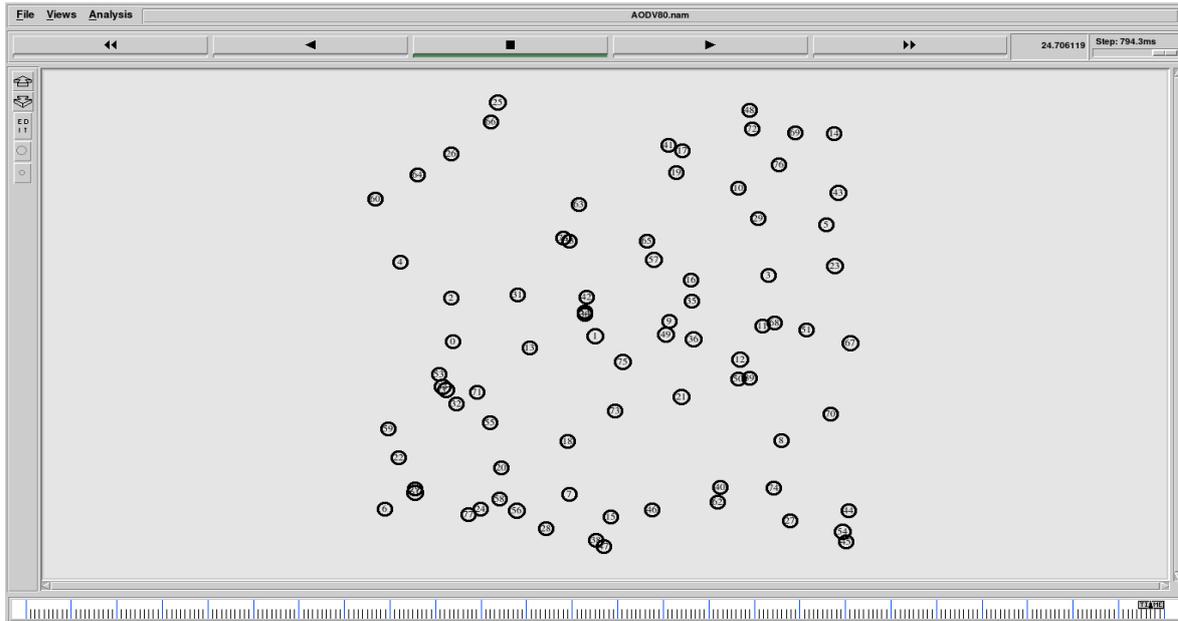
L'OTCL est un TCL avec les extensions orientée objet. NS2 utilise otcl pour le programmeur de simulation pour créer les objets de réseau dans la mémoire et d'insérer des événements initiaux dans la file d'attente de l'événement.

```

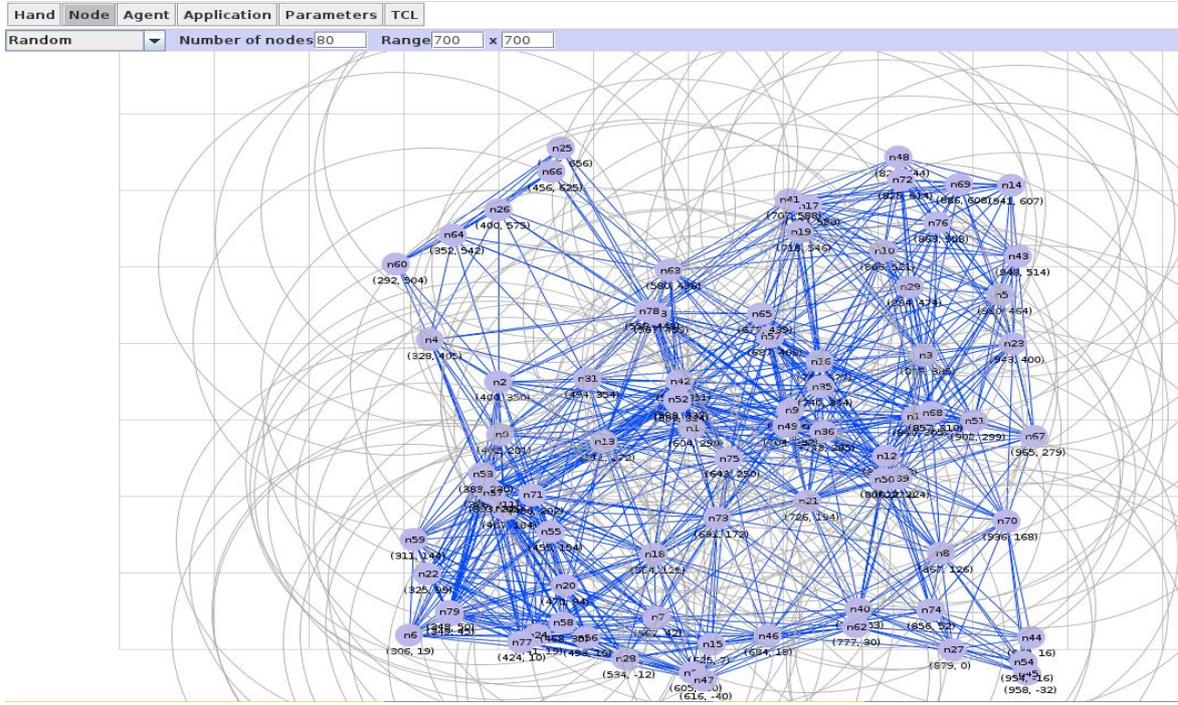
4 #=====
5 #   Simulation parameters setup
6 #=====
7 set val(chan) Channel/WirelessChannel      ;# channel type
8 set val(prop) Propagation/TwoRayGround    ;# radio-propagation model
9 set val(netif) Phy/WirelessPhy           ;# network interface type
10 set val(mac) Mac/802_11                  ;# MAC type
11 set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue     ;# interface queue type
12 set val(ll) LL                           ;# link layer type
13 set val(ant) Antenna/OmniAntenna        ;# antenna model
14 set val(ifqlen) 50                       ;# max packet in ifq
15 set val(nn) 20                           ;# number of mobilenodes
16 set val(rp) AODV                         ;# routing protocol
17 set val(x) 1022                          ;# X dimension of topography
18 set val(y) 689                          ;# Y dimension of topography
19 set val(stop) 25.0                       ;# time of simulation end
20
21 #=====
22 #   Initialization
23 #=====
24 #Create a ns simulator
25 set ns [new Simulator]
26
27 #Setup topography object
28 set topo [new Topography]
29 $topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
30 create-god $val(nn)
31
32 #Open the NS trace file
33 set tracefile [open AODV20.tr w]
34 $ns trace-all $tracefile
35
36 #Open the NAM trace file
37 set namfile [open AODV20.nam w]
38 $ns namtrace-all $namfile
39 $ns namtrace-all-wireless $namfile $val(x) $val(y)
40 set chan [new $val(chan)];#Create wireless channel

```

**Figure 3.2:** fichier TCL de simulation (protocole ADOV)



**Figure 3.3:** Exemple de la capture simulation l'exécution du fichier TCL (protocole ADOV)



**Figure 3.4:** Exemple de scénario la capture simulation (protocole ADOV).

## 5. Environnement de simulation :

Le tableau présente plateforme d'implémentation que nous avons choisie ainsi que les caractéristiques de la machine utilisée, Pour réaliser notre travail on a installé NS2 sur une machine virtuelle en utilisant Oracle VM VirtualBox.

Simulateur	NS2
Système d'exploitation	LINUX UBUNTU
CPU	Core 2 Dou, 2GHZ
RAM	574 MO
Disque dur	13.5 GO

**Tableau 1.1:** La plate forme logicielle

Le simulateur NS-2 que nous avons choisi Dans le cadre de notre étude, est développé à Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). C'est le simulateur de réseaux le plus utilisé par la communauté des chercheurs dans le domaine des réseaux. Le simulateur NS2 est un simulateur à événements discrets qui permet d'exécuter tout type de scénarios sur des topologies définies par l'utilisateur. Il permet la description et la simulation de réseaux IP[44].

## 6. Gnuplot:

Est un logiciel interactif en ligne de commande qui sert à produire des représentations graphiques en deux ou trois dimensions de fonctions numériques ou de données. Le programme fonctionne sur de nombreux ordinateurs et systèmes d'exploitation (Linux, Windows, OS/2, VMS...) et peut envoyer les graphiques à l'écran ou dans des fichiers dans de nombreux formats. Gnuplot utilise également l'algorithme de Levenberg-Marquardt pour ajuster les paramètres d'une fonction numérique sur des données expérimentales.

## 7. La simulation :

### Objectifs:

Le but principal de notre simulation est la comparaison entre les protocoles de routage (AODV, DSDV,DSV) réseaux de capteurs, en jouant sur certain propriétés du réseau tel que la mobilité des nœuds, la distance et le nombre de nœud.

### Simulation et évaluation des performances:

Nous nous sommes intéressés à comparer les trois protocoles AODV et DSDV,DSV en mesurant la métrique de performance suivante:

### Scénarios de simulation :

Nous avons simulé Trois types de protocole le protocole proactif DSDV et le protocole réactif AODV,DSV, en va montrer le résultat de leur comparaisons.

### Simulation:

Dans cette simulation, le nombre de nœuds varie (cas 1 : 20 nœud et cas 2 : 40 nœud cas 3 :60 nœud cas 4 :80 nœud) :

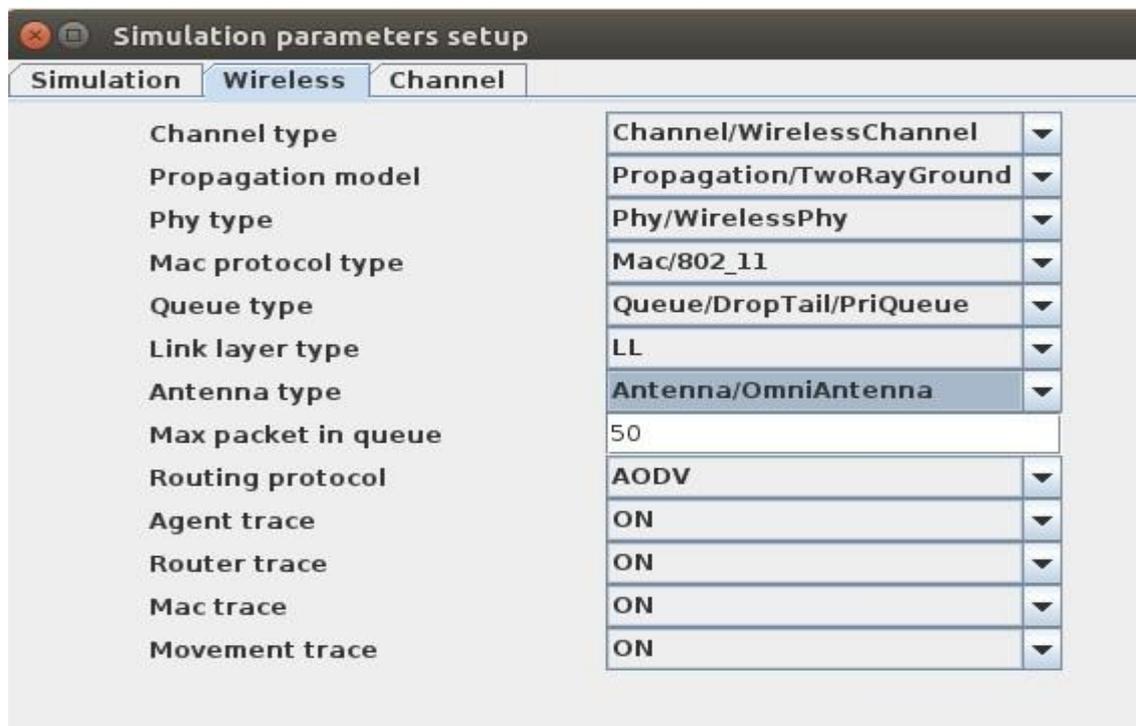
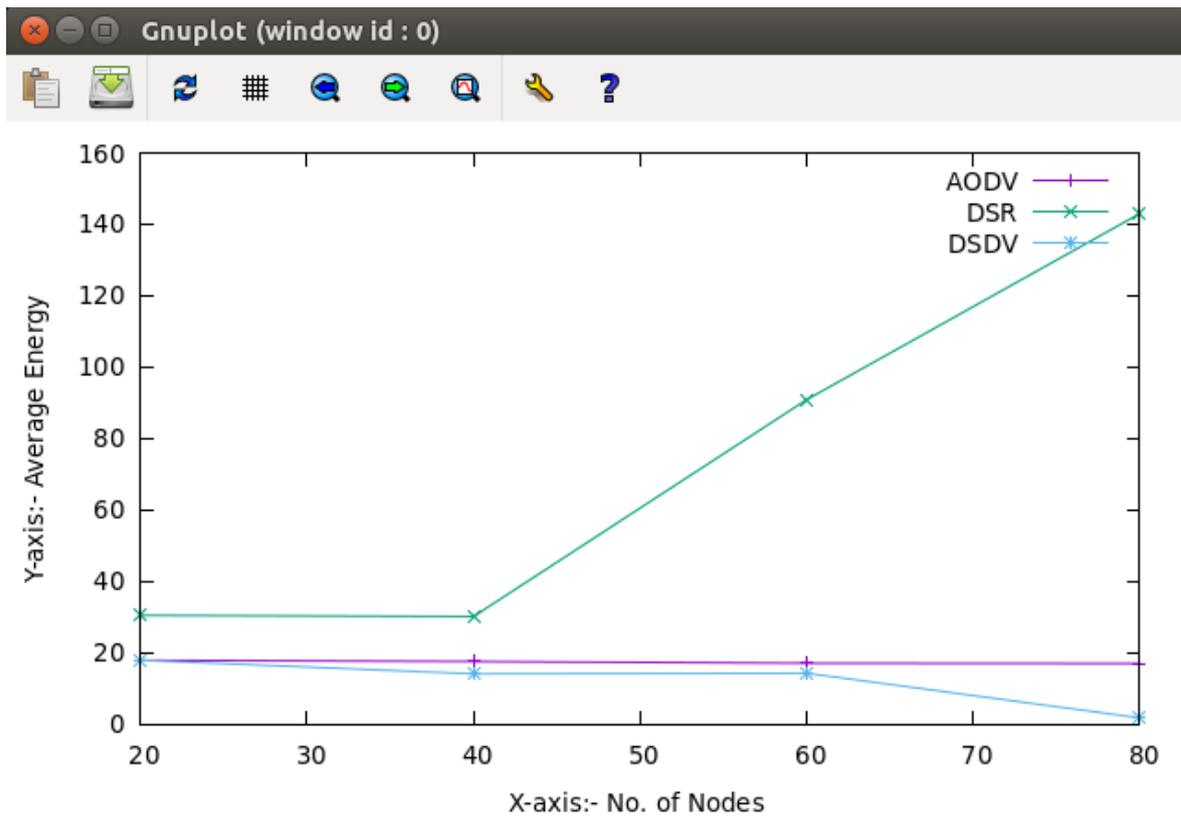


Figure 3.5: Paramètre de simulation

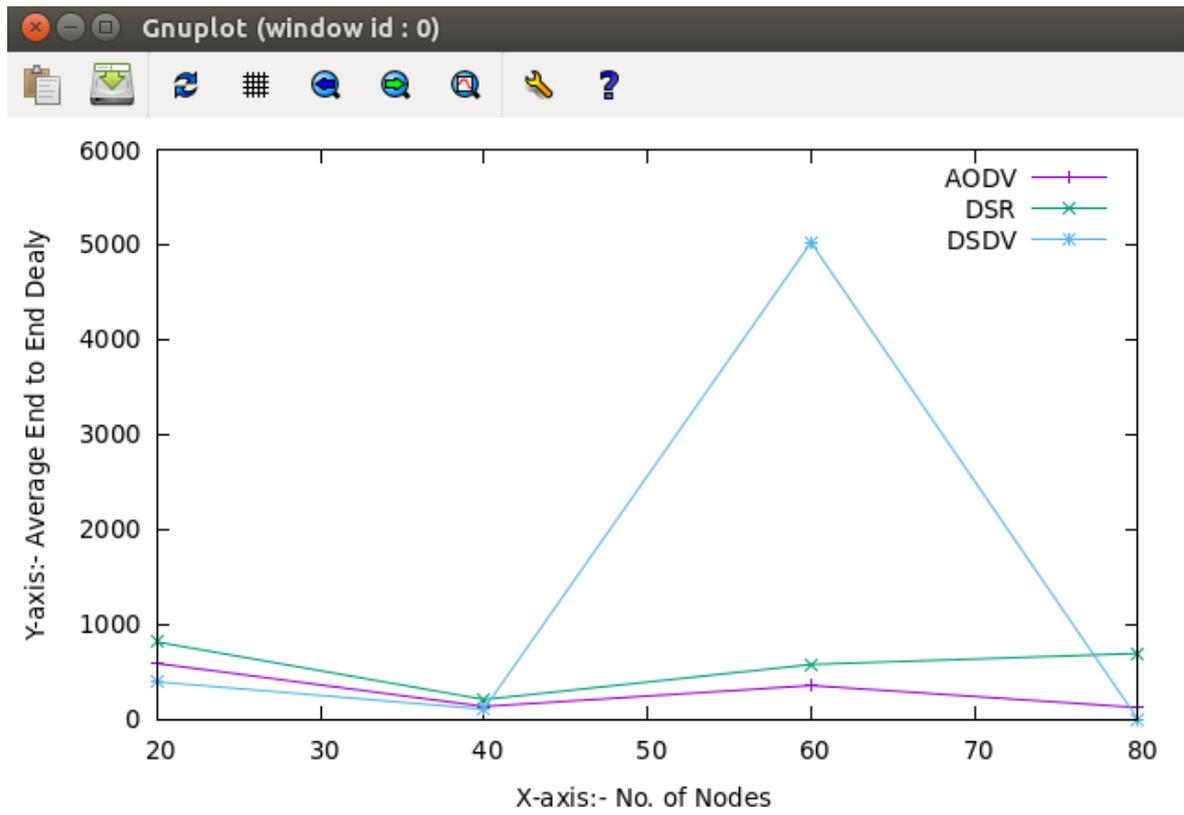
## Consommation moyenne d'énergie :



**Figure 3.6:** La consommation énergétique des trois protocoles

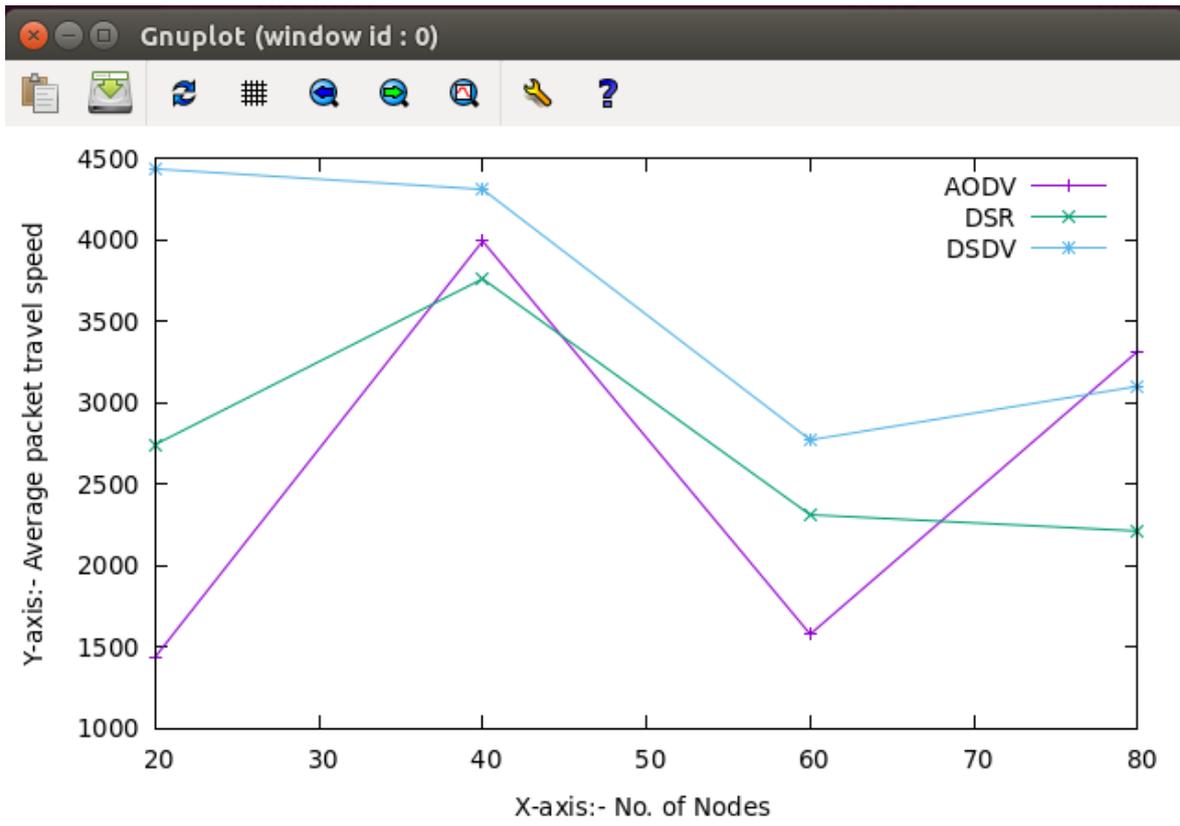
La figure N°3.6 illustre la consommation énergétique des trois protocoles AODV, DSR et DSDV en fonction des nombres des nœuds, on trouve que la consommation énergétique du protocole AODV et protocole DSR sont constantes, tandis que la consommation énergétique du protocole DSDV est décroissante jusqu' à 40 nœuds, dans l'intervalle de 40 jusqu'à 60 nœuds la consommation des deux protocoles AODV et DSDV devient constantes et la consommation DSR est croissante, dans l'intervalle de 60 jusqu'à 80 nœuds DSDV est diminuée.

**Le Délai de bout en bout:**

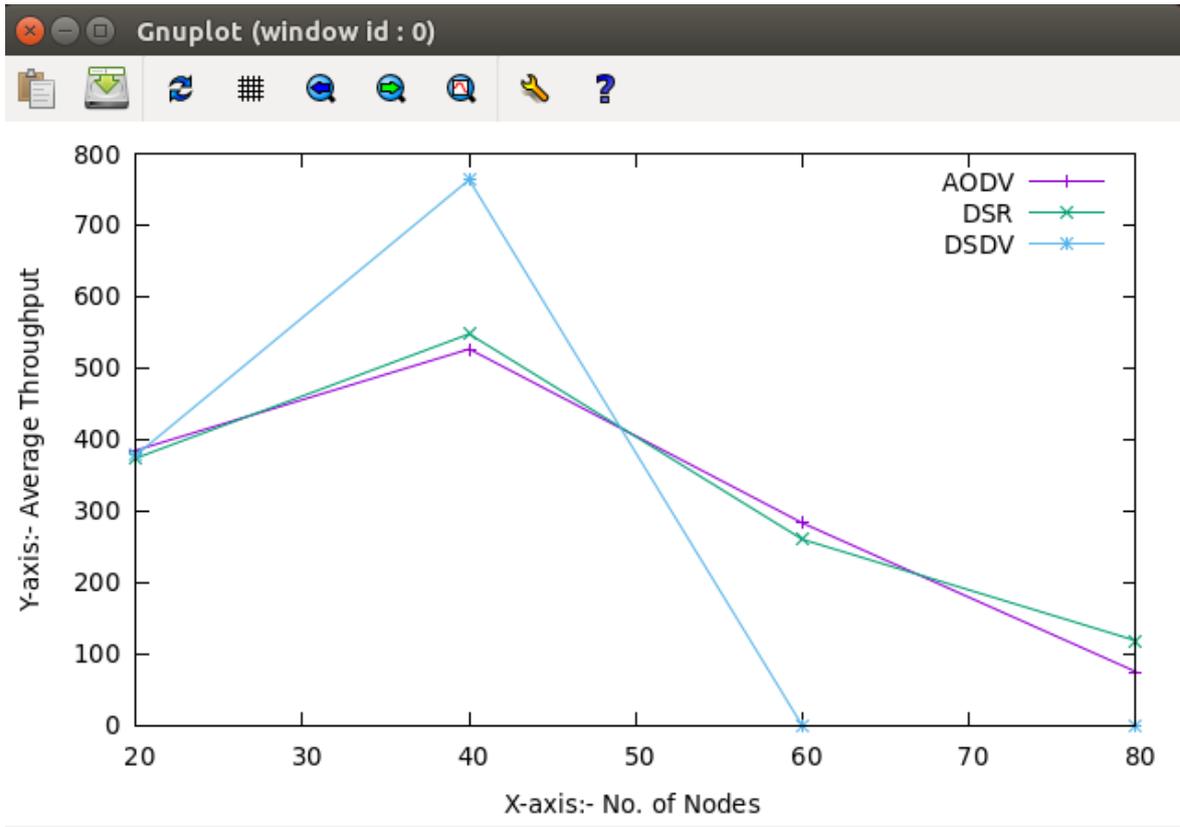


**Figure 3.7: Délai de bout en bout**

La figure N°3.7 représente le délai de bout en bout en fonction de nombre des nœuds, on observe que les délais des protocoles varient de la même façon (elles diminuent jusqu’ à 40 nœuds, en suite augmentent); puis les délais du protocole AODV et DSDV devient décroissantes a partir 60 nœuds.

**Taux moyenne de déplacement des paquets:****Figure 3.8:** Taux moyenne de déplacement des paquets

Les courbes représentées par la figure N°3.8 donnent les résultats de la Vitesse moyenne de déplacement des paquets, ou les vitesses des AODV et DSR sont croissantes en fonction des nombres des nœuds jusqu' à 40 nœuds, dans cet intervalle la vitesse du protocole DSDV est décroissante; dans l'intervalle de 40 jusqu' à 60 nœuds les trois courbes sont décroissantes; puis les vitesses des deux protocoles AODV et DSDV devient croissantes et la vitesse du protocole DSR reste constante.

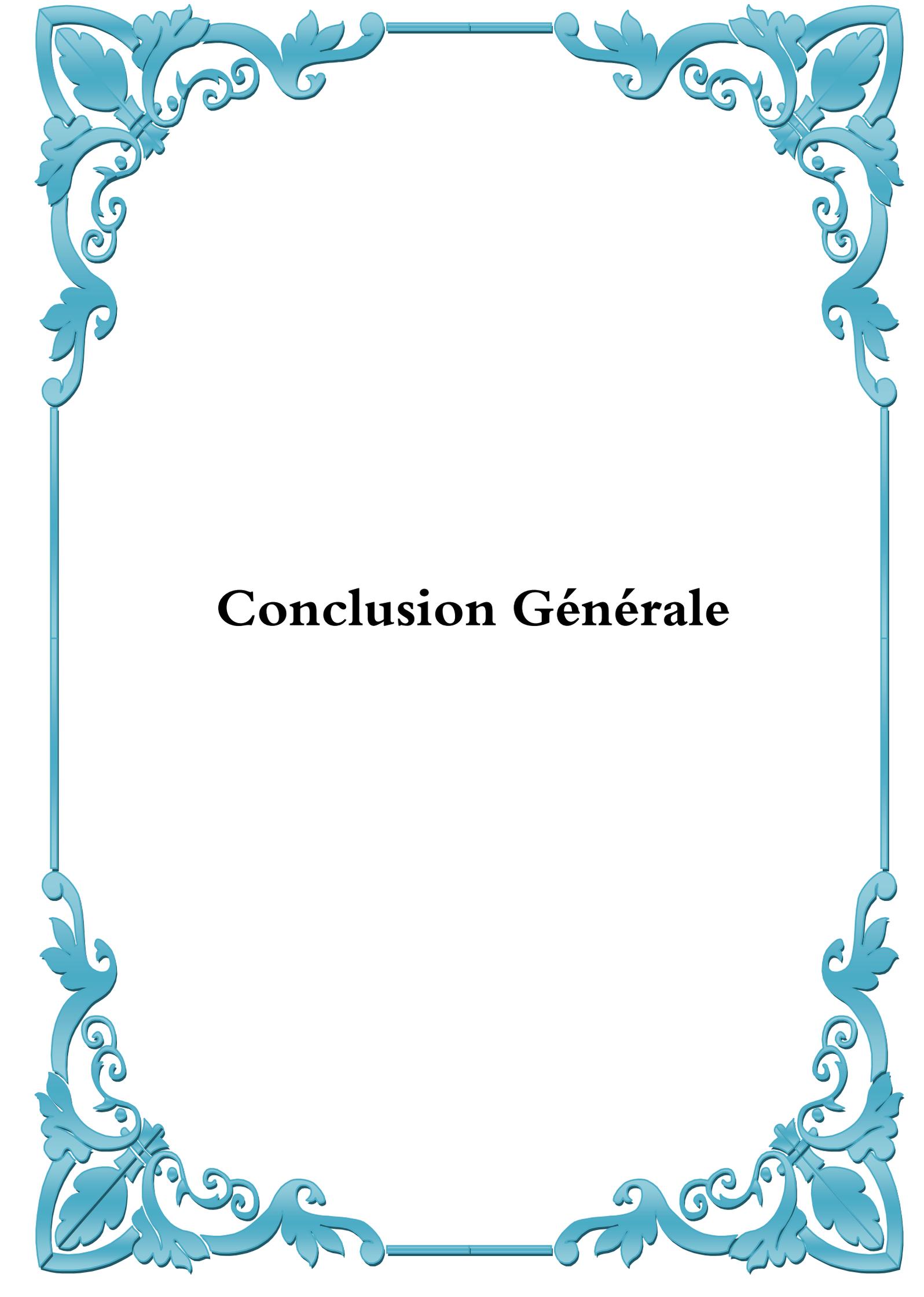
**Productivité moyenne:****Figure 3.9: Productivité moyenne**

La figure N°3.9 représente l'influence de l'augmentation des nombres des nœuds sur la productivité moyenne des trois protocoles, on remarque qu'elle est croissante pour les trois protocoles jusqu'à 40 nœuds, puis elle commence à décroître

**8. Conclusion**

Ce chapitre est une tentative de performance d'évaluation de trois protocoles routages (AODV,DSDV,DSR) RCF couramment utilisé. L'évaluation de la performance a été faite dans le simulateur NS-2 en faisant beaucoup Des simulations. La comparaison était basée sur la consommation énergie, Vitesse moyenne de déplacement des paquets.

D'après les résultats des simulations nous pouvons conclure que le protocole DSDV est performant dans des réseaux de capteurs sans fil.



# **Conclusion Générale**

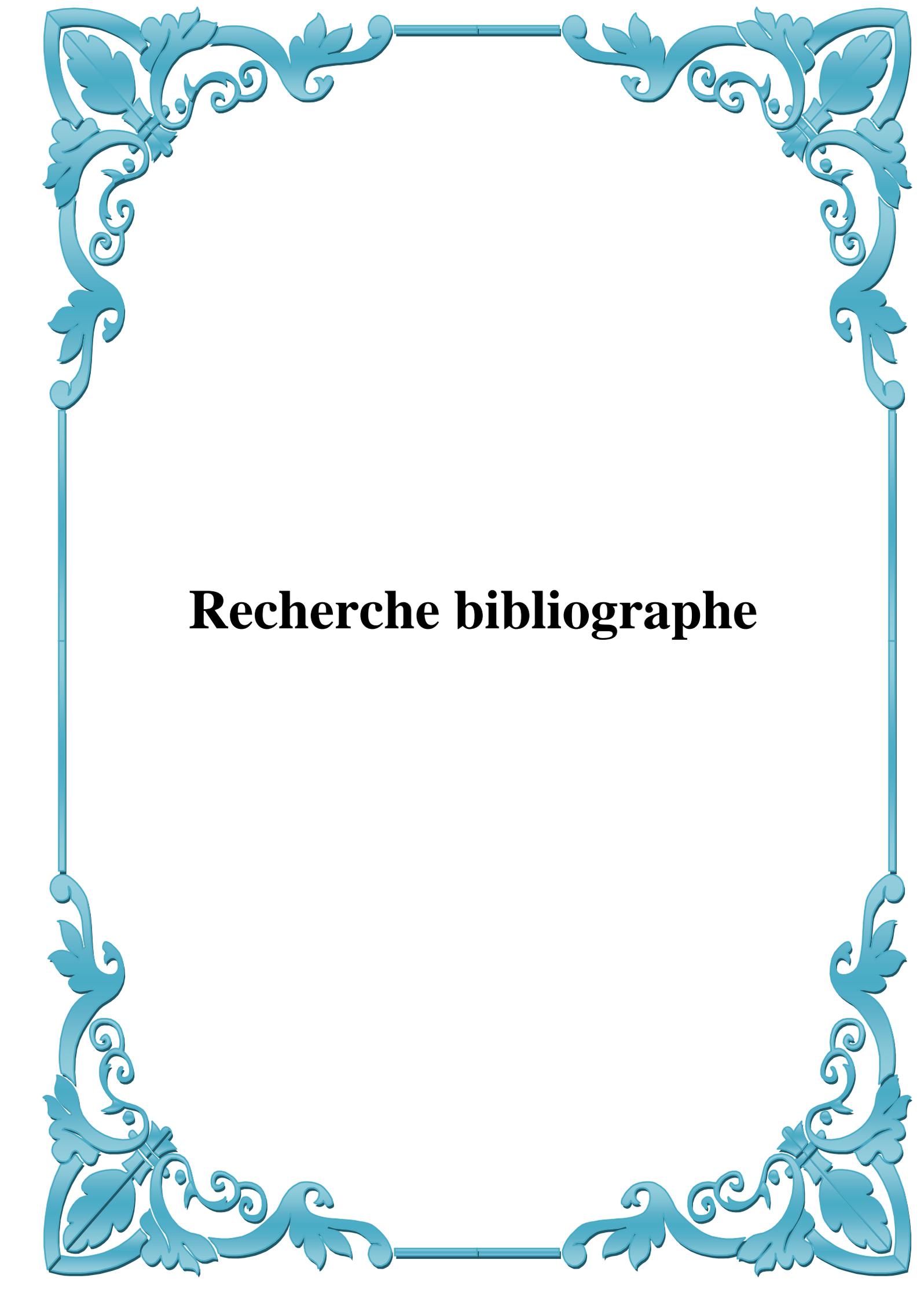
### Conclusion Générale:

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

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.

Nous avons tout d'abord présenté la technologie de réseau sans fil, les types de réseau sans fil et leur principales caractéristiques. Nous avons ensuite focalisée sur le simulateur NS-2. Nous présenté ensuite un certains simulateurs de réseau existants.

En fin L'objectif de ce mémoire de fin d'études était analyse les performances d'un routage aléatoire capture sans fil que ayons simulé par le simulateur Ns-2s Le choix de l'utilisation de NS-2 est justifié par le fait qu'il est considéré comme étant populaire et a été testé par plusieurs chercheurs et Il est également facile.



# **Recherche bibliographe**

### Recherche bibliographe

- [1] Mr. fares Abdelfatah, « Développement d'une bibliothèque de capteur sans fil », diplôme de master en informatique, université Montpellier 2, avril 2008
- [2] R.KACIMI. "Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil", thèse de doctorat, université de Toulouse Toulouse, France, Juillet, 2009.
- [3] Mohamed BENAZZOUZ. 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
- [4] TinyOs Community Forum. <http://www.tinyos.net/>.
- [5] Crossbow. MICA2 Data sheet. [Online] 2009.<http://www.xbow.com/>
- [6] Séverine Sentilles « Architecture logicielle pour capteurs sans-fil en réseau » Rapport de recherche, Université de Pau et des Pays de l'Adour, juin 2006
- [7] Lyes Khelladi, Nadjib Badache « Les réseaux de capteurs: état de l'art », Rapport de recherche, Algérie, Février 2004.
- [8] Patrice KADIONIK «Réseau De Capteurs Sans Fil » projet avance, école national d'électronique informatique et radiocommunication de bourdeaux.
- [9] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, "Energy-aware wireless microsensor networks". IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 19, No. 2, March 2002, pp.40-50.
- [10] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks ". In the Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences, Hawaii, January 2000.
- [11] J. Lester Hill, "System Architecture for Wireless Sensor Networks". University of California, Berkeley, 2003.
- [12] V. Handziski, A. Kopke, H. Karl, and A. Wolisz, "A common wireless sensor network architecture". Technische Universität Berlin, July 2003, pp.10-17.
- [13]C. Chong and S. Kumar, "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges" Proceedings of IEEE, August 2003.

- [14] G. Zhou, T. He, S. Krishnamurthy, and J. A. Stankovic, “Impact of Radio Irregularity on Wireless Sensor Networks”. MobiSys 2004
- [15] ALERT Systems. <http://www.alertsystems.org/>
- [16] N. Noury, T. Herve, V. Rialle, G. Virone, E. Mercier, G. Morey, A. Moro, and T. Porcheron, “Monitoring behavior in home using a smart fall sensor”. IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, October 2000.
- [17] 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.
- [18] <http://www.futura-sciences.com/magazines/high-tech/infos/dico/d/high-tech-routage-1305/> .
- [19] History of Network Switching. [archive], sur le site corp.att.com.
- [20] Houari M AOUCHE, Routage avec Qualité de Service dans AODV, mémoire Présenté pour obtenir le titre d'ingénieur d'état , Université Mouloud Mammeri de Tiz ouzou,2008-2009.
- [21] M. Ali and S. K. Ravula, “Real-time support and energy efficiency in wireless sensor networks”. Technical report, IDE0805, January 2008.
- [22] K.Akkaya, and M. Younis, “A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks”. Journal of Ad Hoc Networks, Vol. 3,No.3, May 2005, pp. 325-349.
- [23] J.N. Al-Karaki and A.E. Kamal, “Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. Wireless Communications”. IEEE, Decembre 2004.
- [24] S. Lindsey and C. Raghavendra, “PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems”. Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, vol. 3, Big Sky, MT, USA, March 2002, pp. 1125-1130.
- [25] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, “TEEN : A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks”. 1st International Workshop on

Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA, April 2001.

[26] N. V. Subramanian, “Survey on Energy-Aware Routing and Routing Protocols for Sensor Networks”. Technical Report, Computer Science, University of North Carolina, Charlotte. 2004.

[27] E.M Royer and C-K Toh. “A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks” . IEEE Personal Communications, Apr. 1999

[28]R. Bellman, “On a Routing Problem, in Quarterly of Applied Mathematics”. 16(1), 1958, pp.87-90

[29] M. I. Razzak, S. A. Hussain, A. A. Minhas and M. Sher, “Collaborative Image Compression in Wireless Sensor Networks”. International journal of computational cognition (<http://www.ijcc.us>), vol. 8, no. 1, march 2010

[30] L. Zhang , Y. Lu, L. Chen, and D. Dong, “Game Theoretical Algorithm for Coverage Optimization in Wireless Sensor Networks”. Proceedings of the World Congress on Engineering 2008 Vol I WCE 2008, London, U.K, July 2008.

[31]M. Zhang, Y. Lu, C. Gonh, Y. Feng, “Energy-Efficient Maximum Lifetime Algorithm in Wireless Sensor Networks”. 2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), October 2008.

[32] A. Munaretto, H. Badis, K. Al Agha, and G. Pujolle, “QoS-enhanced OLSR Protocol for Mobile Ad Hoc Networks”. In the Proceedings of The ANWIRE 1st International Workshop, Glasgow, Ecosse, April 2003, pp 171–183.

[33]BEDOUHENE RAFIK et BENMEDOUR MOHAMMED « protocole de connexion de réseau ad hoc à internet »2003/2004, mémoire de magistère, institue de génie électronique USTMB.

[34]C. E. Perkins, E. E. Royer, S. R. Das, and M. K. Marina, “Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks,”In IEEE Personal Communications, Feb 2001, vol. 8, pp. 16–28.

- [35] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, “DSR The Dynamic Source Routing Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks”. In *Ad Hoc Networking*, edited by Charles E. Perkins, chapter 5, Addison-Wesley, 2001, pp. 139–172.
- [36] M. Abolhasan, T. Wysocki, and E. Dutkiewicz, “A review of routing protocols for mobile ad hoc networks”. *Ad Hoc Networks*, Elsevier, Vol. 2, Issue 1, 2004, pp. 1-22.
- [37] Z. Qiang and Z. Hongbo, “An Optimized AODV Protocol in Mobile Ad Hoc Network”. In *IEEE Wireless Communications and Networking and Mobile Computing*, October 2008, pp. 1-4.
- [38] I. D. Chakeres and E. M. Belding-Royer, “AODV routing protocol implementation design”. In *IEEE Distributed Computing Systems Workshops*. 23-24 March 2004, pp. 698-703
- [39] M. Macedo, A. Grilo, and M. Nunes, “Distributed Latency-Energy Minimization and interference avoidance in TDMA Wireless Sensor Networks”. *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 2009, pp. 569- 582.
- [40] M. Nunes, A. Grilo, M. Macedo, “Interference-free TDMA slot allocation in Wireless Sensor Networks”. In: *Proceedings of the 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks (IEEE LCN’2007)*, Dublin, Ireland, October 2007.
- [41] MANSOURI NADIA « protocole de routage multi-chemin avec équilibrage de charge dans les réseaux mobile ad hoc »2006/2007, rapport de projet de fin d’étude, université de Tunis.
- [42] Nabil Ouazene «Pour une QoS au niveau de la Couche MAC dans les Réseaux sans Fil» mémoire de magister, université de batna, Avril 2009
- [43] BABOURI Karima, thème «Les simulateurs réseaux Technologie réseau» 2013/2014
- [44] K. Fall et K. Varadhan, ‘The ns Manual’, le projet de VINT, 2008.