

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université 20 Août 1955-Skikda

جامعة 20 أوت 1955 سكيكدة

Faculté des Sciences

كلية العلوم

Département : Informatique

قسم: الإعلام الآلي



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master en Informatique

Option : Réseau et System distribuée (RSD).

**Thème :**

**Routage à plat adapté a la méthode d'accès au  
media CDMA dans les réseaux de capteurs sans  
fils.**

Réalisé par :

- Allalou Mouad
- Ben Hamrouche Mohamed El'amine

Encadré par :

Dr. Boulaiche Mehdi

Session : Juillet 2022.

# **Remerciements**

*Je tiens tout d'abord à remercier « Allah » le tout puissant pour nous avoir donné la force de réaliser ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier aussi mes parents pour leurs soutiens et encouragements durant mes années d'études.*

*Mes vifs remerciements s'étendent également à mon encadreur le professeur "Boulaiche Mehdi", à l'université 20 aout 1954 de Skikda, pour son encouragement ainsi ses valeureux conseils et orientation, la confiance, la patience, qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.*

*Je remercie également les membres du jury qui ont accepté de participer à la discussion de mon travail.*

*Un grand merci à mes chers amis, qui m'ont soutenu durant toute la période de la réalisation de ce travail particulièrement « Louahem Mohamed » pour l'aide qui m'a apporté tout au long du travail.*

*Je remercie toutes les personnes qui m'ont aidée durant la préparation de ce mémoire de près ou de loin.*

**Merci.**

# ***Dédicace***

*Grace à Dieu voila notre travail terminé et il est temps pour moi de partager ma joie avec tout ceux qui mon soutenu et encourager.*

**Je dédié ce travail :**

*A vous, ma mère et mon père qui avez consacré votre vie à notre éducation et à  
Faire notre bonheur.*

*A mon cher frère.*

*A mes chères sœurs.*

*A mes très chers ami(e)s, en témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

*A toutes mes camarades.*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

**Med Amine.**

# ***Dédicace***

*Grace à Dieu voila notre travail terminé et il est temps pour moi de partager ma joie avec tout ceux qui mon soutenu et encourager.*

**Je dédié ce travail :**

*A vous, ma mère et mon père qui avez consacré votre vie à notre éducation et à Faire notre bonheur.*

*A mon cher frère.*

*A mes chères sœurs.*

*A mes très chers ami(e)s, en témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

*A toutes mes camarades.*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

**Mouad .**

## Résumé :

Les progrès technologiques réalisés ces dernières années dans le domaine de la micro-électronique et le domaine des réseaux informatiques ont permis le développement de nouveaux types de réseaux appelés un réseau de capteur sans fil (RCSF), qui est tout simplement un ensemble des capteurs, formant un réseau sans infrastructure.

Les réseaux des capteurs sans fil opèrent souvent avec des méthodes d'accès au media qui obligent les nœuds du réseau à attendre que le canal soit libre avant de transmettre les données, ce qui augmente le temps de transmission de bout en bout. Une pénalité pour les applications en temps réel. Dans ce contexte nous avons adapté l'un parmi les protocoles de routage dans les RCSFs (routage à plat) avec la méthode d'accès au media CDMA, afin de permettre l'accès simultané au media tout en évitent les collisions.

**Mots clés:** RCSF, Méthode d'accès au media CDMA, routage dans RCSF, routage à plat.

## Abstract:

Technological advances made in recent years in the field of microelectronics and the field of computer networks have allowed the development of new types of networks called a wireless sensor network (RCSF), which is simply a set of sensors, forming a network without infrastructure.

Wireless sensor networks often operate with media access methods that force network nodes to wait until the channel is clear before transmitting data, which increases the end to end transmission delay. Increasing end-to-end delay is considered as a penalty for real-time applications. In this context we have proposed to adapt one of the routing protocols of the RCSF (flat routing) with a media access method called CDMA, in order to allow simultaneous access to the media while avoiding collisions.

**Keywords:** RCSF, CDMA media access method, routing in RCSF, flat routing.

## ملخص :

سمحت التطورات التكنولوجية التي تم إحرازها في السنوات الأخيرة في مجال الإلكترونيات الدقيقة ومجال شبكات الكمبيوتر بتطوير أنواع جديدة من الشبكات تسمى شبكة الاستشعار اللاسلكية (RCSF) ، وهي مجرد مجموعة من أجهزة الاستشعار ، تشكل شبكة بدون بنية تحتية. غالبًا ما تعمل شبكات الاستشعار اللاسلكية مع طرق الوصول إلى الوسائط التي تجبر عقد الشبكة على الانتظار حتى تصبح القناة واضحة قبل إرسال البيانات ، مما يؤدي إلى إبطاء وقت الإرسال في تطبيقات الوقت الفعلي. في هذا السياق ، قمنا بتكييف أحد بروتوكولات التوجيه الخاصة بـ RCSF (التوجيه المسطح) عن طريق طريقة الوصول إلى وسائط CDMA في RCSFs ، مما يسمح بالوصول المتزامن إلى الوسائط لتجنب الاصطدام.

**الكلمات الرئيسية:** RCSF ، طريقة الوصول إلى وسائط CDMA ، التوجيه في RCSF ، التوجيه المسطح.

*Tables*  
*Des*  
*Matières.*

## Table des Matières :

Résumé .....	IV
Abstract .....	IV
ملخص .....	V
Liste des figures.....	XI
Liste des tableaux.....	XIII
Liste des abréviations.....	XIV
Introduction générale.....	01

### Chapitre I: Généralité sur les Réseaux de capteurs sans fil

1. Introduction.....	03
2. Histoire des réseaux de capteurs.....	03
3. Présentation des réseaux de capteurs.....	04
3.1. Définition d'un capteur .....	04
3.2. Architecture de capteur sans fils.....	04
3.2.1. l'unité d'acquisition.....	04
3.2.2. l'unité de traitement.....	04
3.2.3. l'unité de communication.....	04
3.2.4. La batterie.....	05
3.3. Caractéristique des capteurs.....	05
3.4. Exemples des types de capteurs .....	06
3.5. La mise en réseaux.....	06
3.6. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network).....	07
4. Architecture de communication dans les réseaux de capteurs.....	08
4.1. Rôles des couches du réseau de capteurs sans fil.....	08
5. Types de réseaux de capteurs sans fil.....	08
5.1. Réseaux de poursuite.....	08
5.2. Réseaux de collection des données d'environnement.....	09
5.3. Réseaux de surveillance et sécurité .....	09
6. Fonctionnement d'un réseau de capteurs.....	09
7. Topologies des réseaux de capteurs.....	09

7.1. Topologie en étoile.....	09
7.2. Topologie en toile (Mesh Network).....	10
7.3. Topologie hybride.....	10
8. Les plates-formes existantes .....	11
9. Domaines d'application des réseaux de capteurs.....	11
9.1. Applications militaires.....	12
9.2. Applications domestiques.....	12
9.3. Applications environnementales.....	12
9.4. Applications agricoles.....	12
9.5. Applications médicales.....	12
9.6. Applications transportés.....	12
10. Architecture d'un réseau de capteurs sans fils.....	13
11. Comparaison entre un RCSFs et un réseau Ad.....	14
11.1. Fonctionnement sans infrastructure fixe .....	14
11.2. Les points de divergences sont également multiples.....	14
12. Caractéristiques réseaux de capteurs.....	15
13. Contraintes de conception d'un RcSFs .....	16
13.1. Passage à l'échelle .....	16
13.2. Tolérance aux pannes.....	17
13.3. Environnement de déploiement.....	17
13.4. Topologie du réseau .....	17
13.5. Contraintes matérielles .....	17
14. Les limites des RCSFs.....	17
15. Les architectures de communication dans les RcSF.....	18
16. la Sécurité dans les RCSF.....	19
16.1. Analyse de vulnérabilité.....	20
16.2. Buts de sécurité.....	20
<b>17. Conclusion.....</b>	<b>21</b>

## **Chapitre II : Les Méthodes d'accès au media Et Les Protocoles de Routage dans**

### **RCSFs.**

<b>1. Introduction.....</b>	<b>22</b>
-----------------------------	-----------

#### **Partie 01 : les méthodes d'accès au média dans les RCSFs.**

2. Les Méthodes d'accès au média .....	22
3. Classification des méthodes d'accès au média.....	22
3.1. Les Méthodes accès par réservation (statique).....	23
3.1.1. Méthode TDMA.....	23
3.1.2. Méthode FDMA.....	24
3.1.3. Méthode CDMA.....	25
3.1.3.1. Le principe de méthode CDMA .....	25
3.1.3.2. Exemple du CDMA .....	26
3.1.3.3. Les avantages et les inconvénients du CDMA.....	27
3.2. Les Méthodes accès par contention (dynamique).....	27
3.2.1. Méthode CSMA/CA.....	27
3.2.1.1. Principe de fonctionnement de CSMA/CA.....	28
3.2.1.2. Les avantages et les inconvénients de CSMA/CA.....	30

#### **Partie 02 : les protocoles de routage dans les RCSFs.**

4. Définition le Routage .....	31
5. Les défis du routage dans les RCSF .....	31
6. Classification des protocoles de routage dans les RCSF .....	32
6.1. Routage à plat .....	32
6.1.1. Les protocoles du routage à plat .....	33
A. Routage par inondation .....	33
A.1. Avantages et inconvénients du routage par inondation .....	33
B. Dynamic Source Routing DSR .....	34
B.1. Avantages et inconvénients du protocole DSR .....	34
C. Ad Hoc on Demand Distance Vector Routing AODV.....	34
C.1. Avantages et inconvénients du routage AODV .....	35
6.2. Routage hiérarchique .....	35

6.2.1. Les protocoles du routage hiérarchique .....	35
A. LEACH .....	35
A.1. Avantages et inconvénients du LEACH .....	36
B. SAR (Sequential Assignment Routing).....	36
B.1. Avantages et inconvénients du SAR .....	36
6.3. Routage géographique .....	36
6.3.1. Les catégories du routage géographique.....	37
6.3.1.1. Routage Greedy .....	37
6.3.1.2. Routage par face .....	38
6.3.1.3. Routage Hybride .....	38
6.3.2. Les protocoles du routage géographique.....	39
A. Greedy Perimeter Routing Protocol (GPSR) .....	39
A.1. Avantages et inconvénients du protocole GPSR .....	39
B. Geographic Adaptive Fidelity« GAF ».....	39
B.1. Avantages et inconvénients du protocole GAF .....	40
7. Agrégation dans les protocoles de routages des RCSF.....	40
7.1. Approche centralisée .....	40
7.2. L'approche distribuée .....	41
7.2.1. Le fusionnement des paquets .....	41
7.2.2. L'agrégation partielle .....	41
<b>8. Conclusion.....</b>	<b>42</b>

### **Chapitre III : Conception et modélisation de la contribution.**

<b>1. Introduction.....</b>	<b>43</b>
2. Modèle du réseau .....	43
3. Fonctionnement du protocole .....	43
3.1. Phase de désignation des nœuds agrégateurs.....	44
3.2. Phase d'acheminement des paquets .....	46
4. Exemple du Routage à plat avec la méthode CDMA.....	47
<b>5. Conclusion.....</b>	<b>50</b>

**Chapitre IV : Implémentation et Evaluation.**

<b>1. Introduction.....</b>	<b>51</b>
2. Présentation de l’environnement du développement.....	51
2.1. L’environnement matériel.....	51
2.2. L’environnement logiciel .....	51
2.2.1. Caractéristiques de l’environnement de développement «NetBeans».....	51
2.3. Le langage de programmation java.....	52
2.3.1. Caractéristique du langage de programmation java.....	52
2.4. Les bibliothèques utilisées.....	53
2.4.1. Javafx .....	53
2.4.1.1. FXML .....	53
2.4.1.2. Scene builder .....	54
3. Configuration des paramètres de la simulation .....	55
4. Présentation de l’application .....	55
4.1. L’interface d’accueil .....	55
4.2. La création du réseau.....	56
4.3. Démarrage de la simulation .....	57
4.4. L’affichage du résultat de la simulation .....	58
4.5. Le lancement d’une nouvelle simulation .....	59
4.6. La réinitialisation de la simulation .....	60
5. Exemple de simulation et comparaison des résultats .....	61
5.1. Comparaison des résultats .....	61
<b>6. Conclusion.....</b>	<b>62</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>63</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>64</b>

## Liste des figures :

### Chapitre I : Généralités sur les Réseaux de capteurs sans fil

<b>Figure 1.1:</b> Capteur sans fils.....	04
<b>Figure 1.2:</b> Architecture physique d'un capteur.....	05
<b>Figure 1.3 :</b> Schéma représentant quelques types de capteurs.....	06
<b>Figure1.4:</b> Schématisation d'un réseau de capteurs sans-fil.....	07
<b>Figure 1.5:</b> Architecture de communication d'un RCSF.....	07
<b>Figure 1. 6:</b> Modèle en couches du réseau de capteurs sans fil.....	08
<b>Figure 1. 7 :</b> Topologies des réseaux de capteurs.....	10
<b>Figure 1. 8:</b> Quelques modèles de capteurs sans fil.....	11
<b>Figure 1. 9:</b> Applications des réseaux de capteurs.....	13
<b>Figure 1.10:</b> Architecture d'un réseau de capteurs sans fils.....	13
<b>Figure1.11:</b> Communication multi-sauts dans un réseau de capteurs sans fil.....	19

### Chapitre II : Les Méthodes d'accès au media Et Les Protocoles de Routage dans les RCSFs.

<b>Figure2.1 :</b> Technique d'accès multiple TDMA.....	23
<b>Figure2.2 :</b> Technique d'accès multiple FDMA.....	24
<b>Figure2.3 :</b> Technique d'accès multiple CDMA.....	25
<b>Figure2.4 :</b> Accès par CSMA/CS.....	28
<b>Figure2.5 :</b> CSMA/CA Basique.....	29
<b>Figure2.6 :</b> CSMA/CA - RTS/CTS.....	30
<b>Figure2.7:</b> Protocoles de routage pour les RCSF selon la structure du réseau.....	32
<b>Figure 2.8:</b> Routage à plat.....	33
<b>Figure 2.9 :</b> Routage hiérarchique.....	35
<b>Figure 2.10 :</b> Routage Greedy.....	37
<b>Figure 2.11 :</b> Routage par face.....	38
<b>Figure 2.11 :</b> Routage Hybride.....	38
<b>Figure 2.12 :</b> Classification de différentes techniques d'agrégation dans les RCSF.....	40

## Chapitre III : Conception et modélisation de la contribution

<b>Figure 3.1</b> : La zone 1 de l'agrégation.....	44
<b>Figure 3.2</b> : La zone 2 de l'agrégation.....	45
<b>Figure 3.3</b> : La zone 3 de l'agrégation.....	46
<b>Figure 3.4</b> . Cycle de transmission de notre protocole.....	47
<b>Figure 3.5</b> : Formation des nœuds agrégateurs.....	47
<b>Figure 3.6</b> : L'envoi simultané des paquets.....	48
<b>Figure 3.7</b> : L'agrégation puis l'envoi des paquets envoyés aux AN.....	49

## Chapitre IV : Implémentation et Evaluation.

<b>Figure 4.1</b> : Icône du NetBeans.....	51
<b>Figure 4.2</b> : Le langage de programmation java.....	52
<b>Figure 4.3</b> : javafx.....	53
<b>Figure 4.4</b> : icône du Scene builder.....	54
<b>Figure 4.5</b> : Interface d'accueil.....	56
<b>Figure 4.6</b> : choisir le nombre de nœuds.....	56
<b>Figure 4.7</b> : Création du réseau avec 36 nœuds.....	57
<b>Figure 4.8</b> : Démarrage de la simulation avec 36 nœuds.....	58
<b>Figure 4.9</b> : Résultat de la simulation avec 36 nœuds.....	59
<b>Figure 4.10</b> : Simulation avec 5 scénarios.....	60
<b>Figure 4.11</b> : Réinitialisation de la simulation.....	60
<b>Figure 4.12</b> : Résultat de simulation avec 7 scénarios.....	61

### Liste des Tableaux :

<b>Tab 1.1:</b> Comparaison entre un RCSFs et un réseau Ad Hoc.....	15
<b>Tab 2.2 :</b> Le principe de méthode CDMA.....	26
<b>Tab 2.3 :</b> Les avantages et les inconvénients de CSMA/CA.....	30
<b>Tab 4.1:</b> Tableau représentant les différents paramètres des Simulation.....	55

## Liste des abréviations:

**RCSF** : Réseaux de Capteurs Sans Fil

**CDMA**: Code Division Multiple Access

**FDMA**: Frequency division multiple Access

**TDMA**: Time division multiple Access

**CSMA/CA**: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

**MECN**: Minimum Energy Communication Network

**DSR**: Routage à Source Dynamique

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

**SAR**: Sequential Assignment Routing

**GPSR**: Greedy Perimeter Routing Protocol

**GAF**: Geographic adaptive fidelity

**GEAR**: Geographic and Energy Aware Routing

**LEACH**: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

**RAM**: Random-access memory

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

**BS**: Base Station

**CH**: Cluster-Head

***Introduction  
générale***

**D**urant ces dernières décennies, la miniaturisation des composants électroniques, les réseaux informatiques et les nouvelles approches et techniques ont fait des progrès très spectaculaires et ont permis à des nouvelles technologies de se propager. Ceci permis, entre autres, la conception et la mise en œuvre des micro-senseurs très sensibles et très efficaces pour des coûts abordables appelé capteurs. Vues leurs tailles réduites, ces derniers intègrent de composition assez simple telles qu'une unité de captage chargée de l'acquisition des données (température, pression, humidité... etc.), une unité de traitement et de stockage de données et un module de transmission sans fil. Le domaine des réseaux informatiques et de la communication sans fil a largement bénéficié de ces avancées technologiques dans la conception des réseaux de capteurs sans fil (RCSF ou Wireless Sensor Networks WSNs en anglais).

Un réseau de capteurs (RCSF) est généralement constitué d'un très grand nombre de nœuds capteurs disséminés dans un environnement, parfois inaccessible. Ces capteurs (ou micro-capteurs) sont capable de recueillir des informations à partir de cet environnement et de les transmettre à une station de base par l'intermédiaire du support sans fil. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée. Ils sont dispersés aléatoirement à travers une zone géographique, appelée champ de captage, qui définit le terrain d'intérêt pour le phénomène capté. Un réseau de capteur est souvent caractérisé par un déploiement dense dans des environnements à très grande échelle.

Malgré les avancées et les développements technologiques, ce type de réseau est confronté à de nombreux défis liés aux protocoles de routage, exigences des applications et aux capacités limitées des nœuds capteurs

Cependant en parallèle de leurs possibilités indéniables, les RCSF font face à des contraintes et des difficultés certaines. Les nœuds capteurs souffrent d'handicaps techniques : transmission données, taille réduite, source d'énergie limitée, espace de stockage faible et capacités de calculs limités. Parmi ces facteurs :

**Le problème** de transmission de la donnée. Les réseaux des capteurs sans fil opèrent souvent avec des méthodes d'accès au media qui obligent les nœuds du réseau à attendre que le canal soit libre avant de transmettre les données, ce qui ralenti le temps de transmission dans le cas des applications à temps réel.

## Introduction générale :

---

**La solution** proposée pour optimiser le temps de transmission de bout en bout, est d'utiliser un protocole de routage à plat avec la méthode CDMA (Code division multiple Access) qui permet l'accès simultané au media en évitent les collisions et diminuée le délai globale de la transmission.

**L'objectif** de notre travail consiste à proposer une nouvelle approche de routage qui se base sur le protocole du routage a plat par inondation adapter par le principe du fonctionnement de la méthode d'accès statique CDMA (Code division multiple Access).

### Organisation du mémoire :

Pour mener à bien notre travail, nous avons organisé ce mémoire en quatre chapitres selon le plan méthodologique suivant :

**Le chapitre I:** nous présentons une description générale des réseaux de capteurs sansfil ainsi que leurs caractéristiques, contraintes et spécificités.

**Le chapitre II;** est constitué de deux parties. La première présente une description sur les Méthodes d'accès au media et le principe de fonctionnement de chaque méthode. La deuxième nous traiterons les protocoles de routage, dans cette partie on se focalise au concept du routage dans les RCSFs, où nous exposons les classifications existantes pour les protocoles de routage proposés pour ces réseaux, en citant quelques exemples.

**Le chapitre III :** nous exposerons notre propre contribution. Ce chapitre est consacré à la modélisation détaillée de notre solution proposée à la problématique du routage dans les réseaux de capteurs sans fil (transmission données), tout en détaillant son principe de fonctionnement avec illustrations, les avantages qu'on peut obtenir de cette proposition.

**Le chapitre IV :** nous conclurons ce travail en présentant, la simulation de notre proposition ainsi que les résultats qu'on a pu atteindre.

**Enfin,** notre mémoire s'achève par une conclusion générale résumant les grands points qui ont été abordés où nous revenons sur ce que nous avons réalisé, et nous abordons quelques perspectives p our des travaux futurs.

# *Chapitre I:*

## *Généralités sur les Réseaux de capteurs sans fil.*

## 1. Introduction :

Les avancées récentes dans le domaine de communication sans fil et les technologies MEMS (Micro-electro-mechanical systems) ont permis le développement des microcomposants qui intègrent des dispositifs de captages et de communication sans fil dans un seul circuit, à dimension réduite, et avec un coût raisonnable. Ces composants, communément appelés micro-capteurs, ont favorisé l'idée de développer les réseaux de capteurs basés sur l'effort collaboratif d'un grand nombre des nœuds opérant d'une façon autonome et communiquant entre eux via des transmissions à courte portée. Ce nouveau type de réseaux présente une grande amélioration comparé aux capteurs classiques.

Dans ce chapitre, nous donnons une brève présentation sur réseaux de capteurs, leurs caractéristiques et ainsi que les composants, architecture de communication, domaines d'application ...etc.

## 2. Histoire des réseaux de capteurs :

Dans les années 1990, dans le monde de la recherche, est apparue une idée qui paraissait plutôt un rêve pour cette époque : imaginer un système nerveux central pour la Terre, capable de surveiller en temps réel les événements, ayant comme principaux bénéfices de pouvoir empêcher les accidents et d'économiser l'énergie. (Cette poussière intelligente a mis longtemps à apparaître) dit le professeur Pister, de l'Université de Californie à Berkeley. (J'ai inventé l'expression il y a 14 ans. La poussière vraiment futée a mis le temps, mais elle est finalement arrivée).

Aujourd'hui les réseaux de capteurs sont devenus des systèmes pouvant atteindre un très grand nombre de nœuds, avec une zone de couverture déterminée et déployés d'une manière plus ou moins dense dans un environnement hétérogène dont on mesure ainsi son état global. Les derniers progrès en terme de miniaturisation, ainsi que le remplacement du câblage classique par des technologies de communication radio, ont généré de nouvelles catégories d'applications qui visent de nombreux domaines : l'aéronautique, l'automobile, le médical, l'environnement, etc. De plus, les progrès des communications sans fil permettent aujourd'hui de répondre des exigences peu envisageables auparavant [CS01].

## 3. Présentation des réseaux de capteurs:

### 3.1. Définition d'un capteur :

Un capteur est un dispositif équipé de fonctionnalités de sensation avancées. Il mesure ou détecte un événement réel, comme le mouvement, la chaleur ou la lumière et convertit la valeur mesurée dans une représentation analogique ou numérique. Il prélève des informations et élabore à partir d'une grandeur physique (information d'entrée), une autre grandeur physique de nature électrique. [CS01]



**Figure 1.1:** Capteur sans fils. [CS01]

### 3.2. Architecture de capteur sans fils [CS01] :

Un capteur est composé de 4 unités (voir la Figure 1.2) :

#### 3.2.1 l'unité d'acquisition :

Composée d'un capteur qui obtient des mesures sur les paramètres environnementaux et d'un convertisseur Analogique/Numérique qui convertit l'information relevée et la transmet à l'unité de traitement [CS01].

#### 3.2.2 l'unité de traitement :

composée d'un processeur et d'une mémoire intégrant un système d'exploitation spécifique (TinyOS , par exemple). Cette unité possède deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de communication. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de communication. Cette unité est chargée aussi d'exécuter les protocoles de communications qui permettent de faire collaborer le capteur avec d'autres capteurs. Elle peut aussi analyser les données captées [CS01].

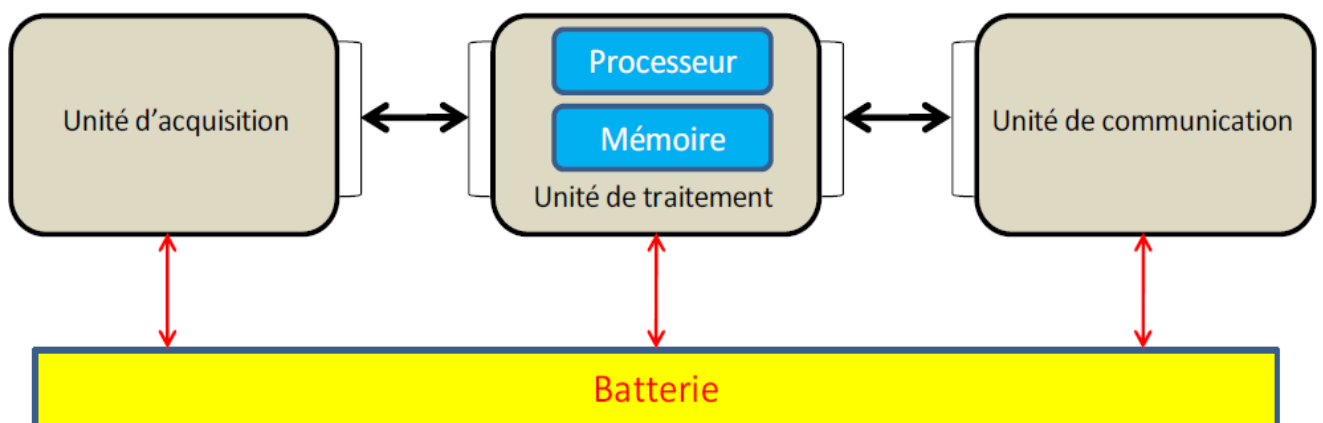
#### 3.2.3 l'unité de communication :

Unité responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio. Elle peut être de type optique (les capteurs Smart Dust), ou de type radiofréquence (MICA2, par exemple) [CS01].

### 3.2.4 La batterie :

Un capteur est muni d'une batterie pour alimenter tous ses composants. Cependant, à cause de sa taille réduite, la batterie dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs.

Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels comme le système de positionnement GPS (Global Positioning System) et un mobilisateur lui permettant le déplacement [CS01].



**Figure 1.2:** Architecture physique d'un capteur. [CS01]

### 3.3. Caractéristique des capteurs [CS02] :

Hier, on cantonnait les capteurs au simple rôle de détecteur : température, fumée, intrusion... On leur demande maintenant de relever plusieurs informations, de communiquer entre eux, et même d'analyser leurs données, ces derniers sont caractérisés par :

- Nouvelles capacités : Communication, Calcul.
- Surdimensionnement, Tolérance aux pannes
- Traitement des données en temps réel.
- Auto organisation.
- Efficace au niveau matériel : Consommation, coût, capacité de calcul, etc.
- Déploiement aléatoire ou planifié.

## 3.4. Exemples des types de capteurs :

Actuellement il existe différents types de capteurs circulant dans le marché, comportant des caractéristiques et des fonctionnalités diverses et variées. Sachant que la plus grande majorité des capteurs sont conçus selon l'application pour laquelle ils sont utilisés cela nous donne une grande variété de capteurs. La figure ci-dessous illustre la diversité des domaines des capteurs [CS02].

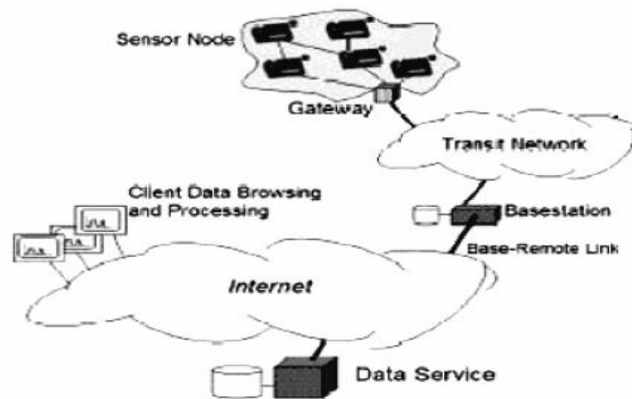


**Figure1.3:** Schéma représentant quelques types de capteurs. [CS02]

## 3.5. La mise en réseaux : [CS02]

Les types de capteurs que nous venons de décrire servent de pierre angulaire à l'édification de réseaux dits de capteurs sans-fil. D'autres éléments viennent compléter ce réseau. Il s'agit des stations de base et des collecteurs. Les collecteurs sont un autre type de nœud du réseau qui permet de rassembler des données provenant de plusieurs nœuds et qui possède également des fonctions de passerelle, reliant ainsi les capteurs avec un réseau externe – Internet par exemple.

Ces derniers possèdent beaucoup plus de capacités que les nœuds tant au niveau de la mémoire que de la vitesse de traitement ou des réserves en énergie. La station de base, quant à elle, est l'élément recueillant les données et/ou les analyses du réseau et servant également à son administration. Un réseau de capteurs sans -fil peut alors ressembler au schéma de la Figure ci-dessous:

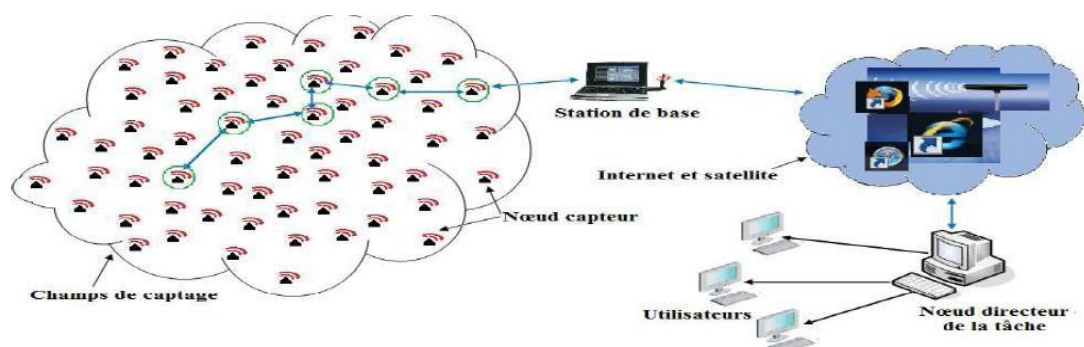


**Figure1.4:** Schématisation d'un réseau de capteurs sans-fil. [CS02]

### 3.6. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network): [CS02]

Un réseau de capteurs sans fil est un type spécial de réseaux ad hoc avec un grand nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de recevoir et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome sans intervention humaine. 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 (par exemple : lâchée de capteurs sur un volcan pour étudier les phénomènes vulcanologiques et leurs évolutions).

Le réseau possède en général un nœud particulier, la base (ou sink), connectée avec les autres nœuds par un réseau filaire est reliée à une alimentation électrique.



**Figure 1.5:** Architecture de communication d'un RCSF. [CS02]

## 4. Architecture de communication dans les réseaux de capteurs [CS03] :

Le modèle de communication comprend cinq couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI ainsi que trois couches pour la gestion d'énergie, la gestion de la mobilité et la gestion des tâches.

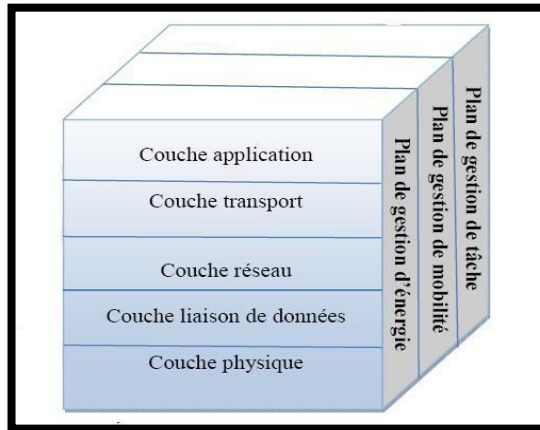


Figure 1. 6: Modèle en couches du réseau de capteurs sans fil. [CS03]

### 4.1. Rôles des couches du réseau de capteurs sans fil :

- **Couche physique** : Matériels pour envoyer et recevoir les données.
- **Couche liaison de données** : Gestion des liaisons entre les nœuds et les stations de base, contrôle d'erreurs.
- **Couche réseau** : Routage et transmission des données.
- **Couche transport** : Transport des données, contrôle de flux.
- **Couche application** : Interface pour les applications au haut niveau.
- **Plan de gestion d'énergie** : Contrôle l'utilisation d'énergie.
- **Plan de gestion de mobilité** : Gestion des mouvements des nœuds.
- **Plan de gestion de tâche** : Balance les tâches entre les nœuds afin d'économiser de l'énergie [CS03].

## 5. Types de réseaux de capteurs sans fil : [CS03]

### 5.1 Réseaux de poursuite :

Ces réseaux sont généralement développés par l'armée, ils peuvent servir à surveiller toutes les activités d'une zone stratégique ou d'accès difficile, ainsi on pourra détecter des agents chimiques, biologiques ou des radiations avant des troupes. On peut aussi penser à des capteurs embarqués sur les soldats pour faciliter leur guidage et le contrôle de leur position depuis la base [CS03].

## 5.2 Réseaux de collection des données d'environnement :

Les nœuds de ce type de réseau peuvent avoir plusieurs fonctionnalités et différents types de capteurs. Ce type de réseau nécessite généralement un flux de données faible, une durée de vie importante ; il sert à la collecte périodique des données environnementales puis leur transmission vers la station de base [CS03].

## 5.3 Réseaux de surveillance et sécurité :

La différence entre ce réseau et le réseau de collection d'environnement est que les nœuds ne transmettent pas l'ensemble des données collectées mais seulement les rapports concernant une violation de la sécurité. Ce sont en général des nœuds fixes qui contrôlent d'une façon continue la détection d'une anomalie dans le fonctionnement d'un système. Ainsi les altérations dans la structure d'un bâtiment, suite à un séisme, pourraient être détectées par des capteurs intégrés dans les murs ou dans le béton, sans alimentation électrique ou autres connexions filaires [CS03].

## 6. 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 [CS03].

## 7. Topologies des réseaux de capteurs :

Un réseau de capteurs sans fil est composé d'un ensemble de nœuds capteurs et des Gateway qui s'occupent de collecter les données des capteurs et de les transmettre à l'utilisateur via l'internet ou le satellite, il existe plusieurs topologies pour les réseaux de capteurs [CS04].

### 7.1. Topologie en étoile :

La topologie en étoile est un système uni-saut. Tous les nœuds envoient et reçoivent seulement des données avec la station de base. Cette topologie est simple et

elle demande une faible consommation d'énergie, mais la station de base est vulnérable et la distance entre les nœuds et la station est limitée [CS04].

## + **Avantage :**

- ✓ Simplicité et faible consommation d'énergie des nœuds, moindre latence de communication entre les nœuds et la station de base.

## + **Inconvénient :**

- ✓ La station de base est vulnérable, car tout le réseau est géré par un seul nœud.

## 7.2. Topologie en toile (Mesh Network) :

La topologie en toile est un système multi-saut. La communication entre les nœuds et la station de base est possible. Chaque nœud a plusieurs chemins pour envoyer les données. Cette topologie a plus de possibilités de passer à l'échelle du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes, mais elle demande une consommation d'énergie plus importante [CS04].

## + **Avantage :**

- ✓ Possibilité de passer à l'échelle du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes.

## + **Inconvénient :**

- ✓ Une consommation d'énergie plus importante est induite par la communication multi-sauts. Une latence est créée par le passage des messages des nœuds par plusieurs autres avant d'arriver à la station de base.

## 7.3. Topologie hybride :

La topologie hybride est un mélange des deux topologies ci-dessus. Les stations de base forment une topologie en toile et les nœuds autour d'elles sont en topologie étoile. Elle assure la minimisation d'énergie dans les réseaux de capteurs [CS04].

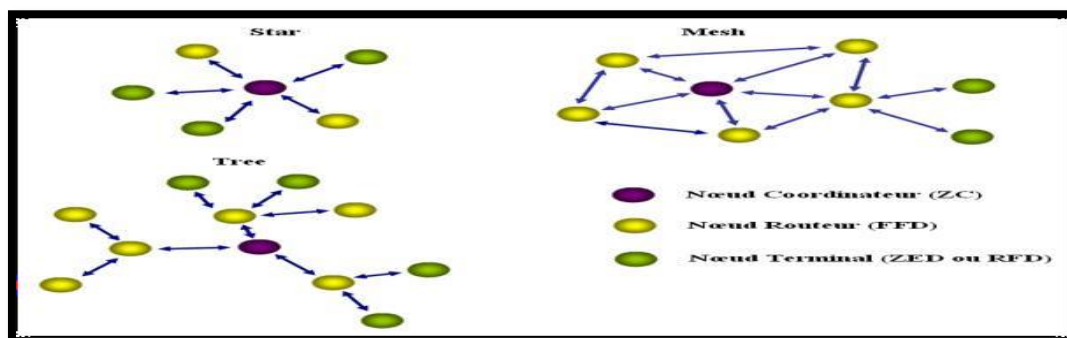
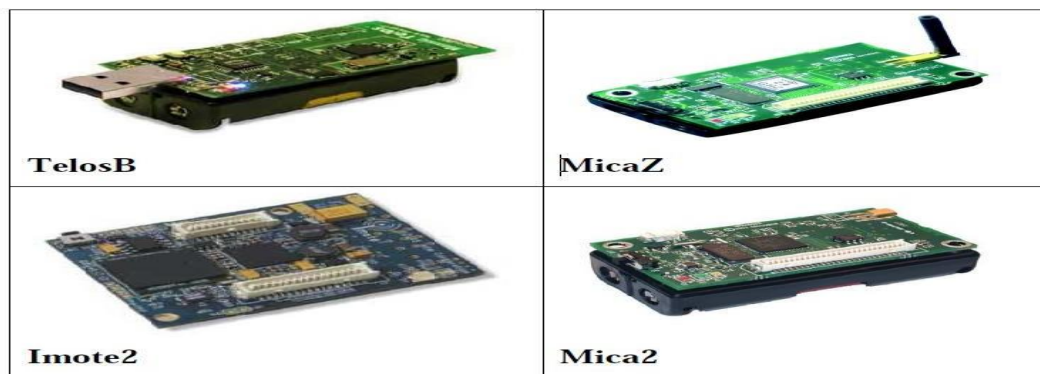


Figure 1. 7 : Topologies des réseaux de capteurs. [CS04]

## 8. Les plates-formes existantes : [CS04]

Comme un certain nombre de technologies connues à ce jour, les nœuds de capteurs sans fil doivent être nés d'un projet militaire, ce qui entrave la mise en place d'un chronogramme précise de leur développement. Cependant, le titre du premier prototype de nœuds de capteurs sans fil identifiable dans la bibliographie correspond sans aucun doute au module LWIM (Low-power Wireless Integrated Microsensors) développé dans le milieu des années 90 par l'Agence pour les Projets de Recherche Avancée de Défense (DARPA) des Etats-Unis et l'UCLA. Il s'agissait d'un géophone équipé d'un capteur de transmission radio fréquences et d'un contrôleur PIC. Depuis un peu plus de 10 ans, la technologie des capteurs sans fil a beaucoup évolué. Les modules deviennent de plus en plus petits et les durées de vie prévues augmentent. Aujourd'hui, le marché de noeuds a été ouvert à l'industrie. Le fournisseur le plus connu est Crossbow Inc., avec son offre de capteurs Mica2 et MicaZ (voir Figure 1.8).



**Figure 1. 8:** Quelques modèles de capteurs sans fil. [CS04]

## 9. Domaines d'application des réseaux de capteurs : [CS04]

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. Ils s'insèrent notamment dans d'autres systèmes tels que le contrôle et l'automatisation des chaînes de montage. [CS04]

Ils permettent de collecter et de traiter des informations complexes provenant de l'environnement (météorologie, étude des courants, de l'acidification des océans, de la dispersion de polluants, etc).

Certains prospectivistes pensent que les réseaux de capteurs pourraient révolutionner la manière même de comprendre et de construire les systèmes physiques complexes, notamment dans les domaines militaire, environnemental, domestique, sanitaire et de la sécurité... etc [CS04].

### **9.1.Applications militaires :**

On peut penser à un réseau de capteurs déployé sur un endroit stratégique ou d'accès difficile, afin de surveiller toutes les activités des forces ennemies, ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations).

### **9.2.Applications domestiques :**

En plaçant, sur le plafond ou dans le mur, des capteurs, on peut économiser l'énergie en gérant l'éclairage ou le chauffage en fonction de la localisation des personnes.

### **9.3.Applications environnementales :**

Les réseaux de capteurs sont beaucoup appliqués dans ce domaine pour détecter des incendies, surveiller des catastrophes naturelles, détecter des pollutions et suivre des écosystèmes [CS04].

### **9.4.Applications agricoles :**

Dans les champs agricoles, les capteurs peuvent être semés avec les graines. Ainsi, les zones sèches seront facilement identifiées et l'irrigation sera donc plus efficace [CS04].

### **9.5.Applications médicales :**

Les réseaux de capteurs ont aussi des développements dans le domaine de diagnostic médical. Par exemple, des micro-caméras sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain avec une autonomie de 24 heures [CS04].

### **9.6.Applications transportés :**

Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison [CS04].



Figure 1. 9: Applications des réseaux de capteurs. [CS04]

## 10. Architecture d'un réseau de capteurs sans fils : [CS05]

Un réseau de capteurs constitue un ensemble de capteurs interconnectés par des communications sans fil via un canal radio. Par conséquent, cette catégorie des réseaux possède une architecture décentralisée et arbitraire. La figure ci-dessous montre l'architecture

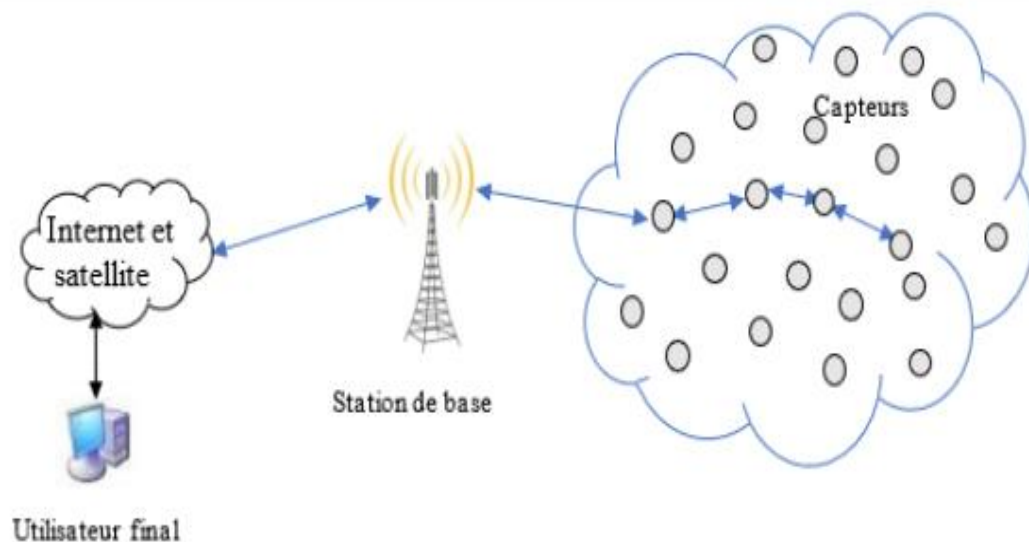


Figure 1.10: Architecture d'un réseau de capteurs sans fils. [CS05]

D'un réseau de capteurs. La station de base, appelée généralement puits, collecte des données provenant d'autres nœuds distribués dans la zone de surveillance et elle est en interaction avec un utilisateur au centre de contrôle. Les données peuvent être collectées à partir d'un nœud jusqu'au puits en utilisant des techniques comme les sauts multiples ou la transmission de données à certaines fréquences. Les puits ont des fonctionnalités plus avancées que les nœuds de détection en termes de transmissions de données et les capacités de traitement, la taille de la mémoire et les réserves d'énergie. En plus, Il peut y avoir plusieurs puits pour un réseau de sorte qu'il n'y ait pas un point unique de collecte des données [CS05].

### 11. Comparaison entre un RCSFs et un réseau Ad Hoc : [CS05]

Un réseau de capteurs sans fil (RcSF) est un réseau Ad Hoc particulier. Les deux types de réseau ont plusieurs points communs et plusieurs divergences. Les points communs essentiels se résument en :

#### 11.1. Fonctionnement sans infrastructure fixe :

- Utilisation de support sans fil pour les communications.
- Le médium utilisé pour l'échange des informations est l'air.
- Les communications sont vulnérables aux problèmes d'interférences.
- L'emploi de protocoles de routage multi-sauts.
- Les protocoles d'accès au médium sont typiquement en mode half-duplex.

#### 11.2. Les points de divergences sont également multiples :

- La densité de déploiement est importante dans les réseaux de capteurs que dans les réseaux Ad Hoc.
- La mobilité est faible dans les RcSF contrairement aux réseaux Ad Hoc
- Le risque de tomber en panne dans les RcSF est plus important que dans les réseaux Ad Hoc.
- Changement fréquent de la topologie du réseau de capteurs par rapport aux réseaux Ad Hoc.
- Le type de communication est généralement en broadcaste (un-à-plusieurs ou plusieurs-à-un) dans les RcSF et en point-à-point dans les réseaux Ad Hoc.

- Les capacités en calcul, mémoire et énergie sont trop faibles dans les RcSF contrairement aux réseaux Ad Hoc.
- Les entités d'un réseau de capteurs sans fil sont souvent inaccessibles par les humains. Les entités d'un réseau Ad Hoc sont directement accessibles [CS05].

Réseau	RcSF	Ad Hoc
<b>Propriétés</b>		
<b>Infrastructure</b>	<b>Sans infrastructure fixe</b>	
<b>Support de communication</b>	<b>Sans fil</b>	
<b>Médium</b>	<b>Air</b>	
<b>Problèmes d'interférences</b>	<b>Vulnérables aux problèmes d'interférences</b>	
<b>Routage</b>	<b>Envoi direct, Multi-sauts</b>	
<b>Accès au médium</b>	<b>Half-duplex</b>	
<b>Nombre de nœuds</b>	<b>Plusieurs centaines de milliers</b>	<b>Une dizaine</b>
<b>Densité de déploiement</b>	<b>Importante</b>	<b>Moyenne</b>
<b>Mobilité</b>	<b>Faible</b>	<b>Forte</b>
<b>Pannes</b>	<b>Fréquent</b>	<b>Rare</b>
<b>Topologie du réseau</b>	<b>Changements fréquents</b>	<b>Fixe</b>
<b>Type de communication</b>	<b>Broadcast</b>	<b>Point-à-point</b>
<b>Capacités en ressources</b>	<b>Trop faible</b>	<b>Aucune limitation</b>
<b>Accessibilité</b>	<b>Inaccessible</b>	<b>Facilement accessible</b>

**Tab 1.1:** Comparaison entre un RCSFs et un réseau Ad Hoc. [CS05]

## 12. Caractéristiques réseaux de capteurs : [CS06]

Par ailleurs les caractéristiques essentielles des RCSF s'établissent comme suit :

❖ **Scalabilité et adaptabilité** : Importance des nombres de nœuds qui peut parfois atteindre des millions en vue d'une meilleure granularité de surveillance, avec une polyvalence de remplacement en cas de défaillance. [CS06]

❖ **Caractéristiques du trafic interrompu** : L'accès sans fil est perturbé pas les interférences inévitables au sein d'un RCSF (Exp : perturbation des liens radio dans un hôpital). [CS06]

❖ **Bande passante** : La bande passante utilisée dans les réseaux de capteurs sans fils est généralement très réduite. Ainsi, les échanges des messages protocolaires destinés au bon fonctionnement des protocoles de communication (over Head) sont limités au maximum. [CS06]

❖ **Réseaux multi-sauts** : Les RCSF adoptent des communications multi-saut en raison des limitations des ressources physiques dues à la miniaturisation des composants électroniques. [CS06]

❖ **Réduction de la consommation de l'énergie** : La gestion de l'énergie au sein d'un RCSF est limitée du fait que les capteurs sont alimentés par des batteries qui ne peuvent être changées par suite des milieux hostiles défavorables (sachant que le rechargement des batteries est très onéreux et donc très peu rentable d'un point de vue économique) [CS06].

❖ **Différents types de déploiements** : Engendrent des conséquences qui diffèrent d'un déploiement à un autre :

- Le déploiement dans la nature mène à une absence de sécurité physique causée par la présence d'intrus ou de capture de nœuds.
- Le déploiement dans un lieu précis exige une topologie préconfigurée.
- Le déploiement aléatoire demande des algorithmes d'auto organisation.

### 13. Contraintes de conception d'un RCSFs : [CS07]

#### 13.1. Passage à l'échelle :

Le nombre de capteurs déployés sur une zone de captage peut atteindre plusieurs centaines de milliers voire plusieurs millions pour certaines applications. Le bon fonctionnement du réseau est conditionné par la définition d'un schéma de déploiement efficace respectant la propriété de haute densité. Le passage à l'échelle est défini comme la possibilité de déployer un grand nombre de nœuds sur une petite surface. Il est donné par la valeur calculant les distances entre les nœuds.

Le passage à l'échelle est utilisé pour connaître exactement la densité, le rayon d'émission et le nombre moyen de voisins d'un nœud donné. Ces informations sont d'une importance capitale pour bien modéliser le trafic avant toute implémentation réelle. A noter que le passage à l'échelle est plus critique dans les réseaux de capteurs que dans les autres réseaux sans fil. [CS07]

## 13.2. Tolérance aux pannes :

Le fonctionnement d'un ou de plusieurs capteurs peut être interrompu au cours du cycle de vie du réseau. Les causes de ces défaillances sont multiples : i) manque en ressources énergétiques, ii) dégâts matériels, iii) interférences environnementales, iv) compromission des nœuds ...etc. Ces pannes ne doivent pas affecter le fonctionnement global du réseau. La tolérance aux pannes se définit alors comme la capacité du réseau à continuer à fonctionner normalement sans interruption même après le dysfonctionnement d'un ou de plusieurs de ses nœuds capteurs [CS07].

## 13.3. Environnement de déploiement :

Dans la majorité des applications, les nœuds capteurs sont déployés dans des zones distantes, hostiles et sans aucune surveillance ni intervention humaine. Les capteurs doivent être conçus pour résister aux différentes conditions climatiques telles que la chaleur, l'humidité, le froid, la pression ...etc. [CS07]

## 13.4. Topologie du réseau :

L'ajout de nouveaux capteurs sur la zone de captage ou la défection d'un ou de plusieurs nœuds capteurs du réseau peut causer une instabilité de la topologie du réseau [CS07].

## 13.5. Contraintes matérielles :

On peut citer :

- \* Consommation stricte et mesurée de l'énergie.
- \* Un coût faible.
- \* Fonctionnement autonome des capteurs.
- \* S'adapter aux conditions de déploiement (environnementales, climatiques ...etc.)
- \* Une portée radio limitées.
- \* Faible débit.
- \* Etc.

## 14. Les limites des RCSFs : [CS07]

- Les ressources de calcul et de mémoire des nœuds sont relativement faibles, par exemple les nœuds de capteur de type "mote" sont composés d'un microcontrôleur 8-bits 4MHz, 40 KOctets de mémoire et une radio avec un débit d'environ 10 kbps.
- Non seulement les capacités des nœuds sont faibles, mais en plus ils opèrent sur

des piles et par conséquent ont une durée de vie limitée.

- L'énergie limitée des capteurs est probablement la caractéristique la plus pénalisante, le plus grand des défis dans le domaine des réseaux de capteurs reste de concevoir des protocoles, entre autre de sécurité, qui minimisent l'énergie afin de maximiser la durée de vie du réseau. En d'autres mots, l'énergie est sans aucun doute la ressource qui convient pour gérer avec la plus grande attention.

### 15. Les architectures de communication dans les RcSF : [CS08]

Une communication est définie par l'échange d'informations entre les entités du réseau. Elle peut être établie suite à un événement déclenché par un nœud capteur ou à une requête diffusée sur le réseau par la station de base, l'utilisateur final de l'application, un nœud chef de zone...etc.

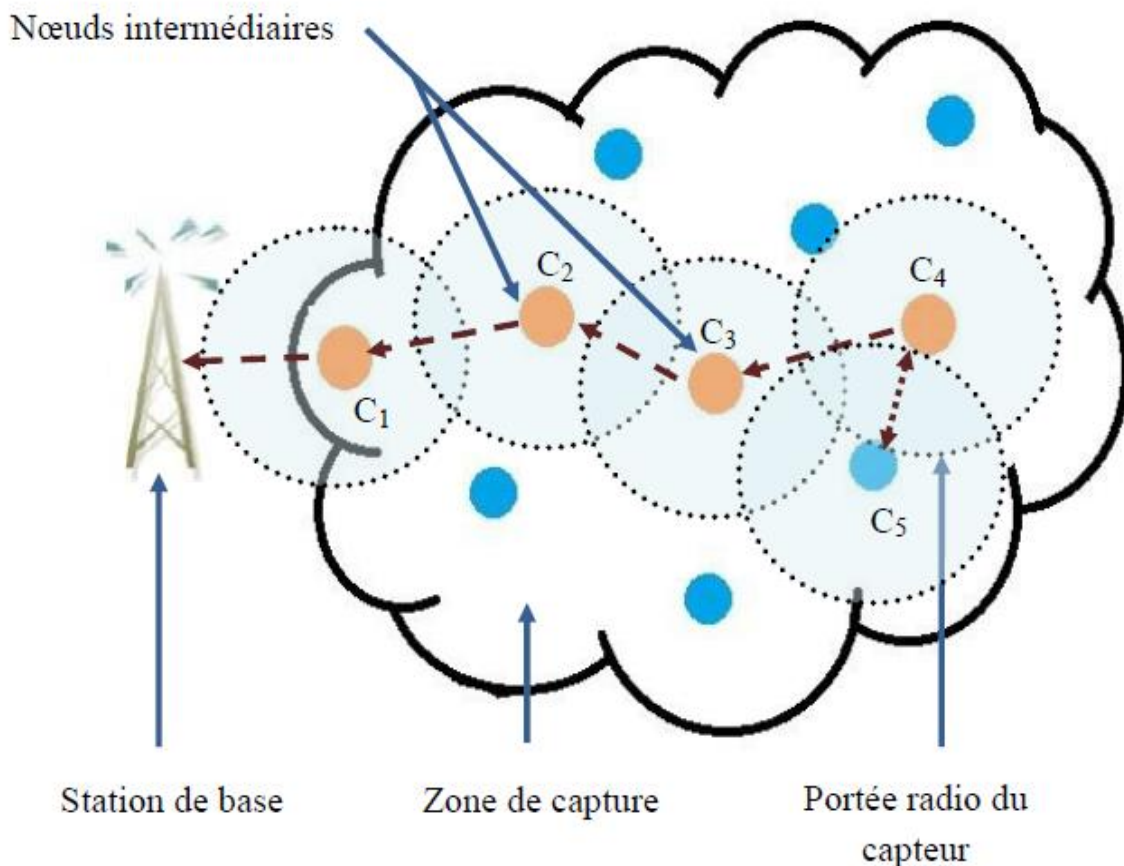
Les stratégies de communication dépendent de plusieurs facteurs : domaine d'application du réseau (stratégique, confidentiel, publique ...etc.), l'environnement de déploiement (hostile, inaccessible), les objectifs du réseau (temps réel, régulier, événementiel...etc.).

Les réseaux de capteurs sans fil sont souvent utilisés dans des environnements hostiles sans aucune infrastructure de base, ne possédant aucune information sur l'emplacement des nœuds capteurs et par conséquent sur la topologie du réseau (locale ou globale). Dans des conditions similaires, les nœuds capteurs doivent s'auto-organiser et construire une infrastructure de communication autonome qui leur permet d'interagir entre eux et d'établir un cheminement de n'importe quel nœud capteur vers n'importe quelle destination sur le réseau.

Pendant le processus d'acheminement de données et d'informations, un nœud capteur joue plusieurs rôles à la fois : collecteur, intermédiaire ou collecteur et intermédiaire en même temps. Les nœuds intermédiaires participent à la mise en place d'architectures de communications multi-sauts. Dans certains cas et ce qui est rare pour les RcSF, les nœuds capteurs peuvent atteindre en un seul saut (directement) la station de base si ces deux entités se trouvent dans la même portée radio de communication. Ce type de communication en un seul saut ne nécessite aucune collaboration ni architecture de communication pour le routage de données et d'informations.

La figure (1.11) montre un exemple d'un réseau constitué de plusieurs nœuds capteurs. Il s'agit d'une communication multi-sauts entre le nœud collecteur C<sub>4</sub> et la station de base et d'une communication en un seul saut entre C<sub>1</sub> et la station de base. A partir de cette organisation, on distingue quatre types de communications dans les réseaux de capteurs sans fil :

- a. Communication directe entre un nœud collecteur et un autre nœud collecteur (cas des nœuds C4 et C5) : ce type de communication est généralement utilisé dans des opérations locales telles que la procédure de création de routes ou pendant le processus de clustérisations
- b. Communication entre un nœud collecteur et un nœud intermédiaire (cas des nœuds C4 et C3) : Puisque le nœud collecteur n'est pas en mesure d'atteindre directement la station de base, ses données collectées sont transmises à un nœud intermédiaire se trouvant dans sa portée radio.



**Figure1.11:** Communication multi-sauts dans un réseau de capteurs sans fil. [CS08]

## 16. la Sécurité dans les RCSF : [CS08]

La sécurité est un domaine très important pour les RCSFs, particulièrement pour des applications sensibles du domaine militaire, médicale, et autres. La sécurité devrait intervenir pour certaines fonctions sensibles telles que l'expédition des paquets, le cheminement et la gestion d'un réseau, fonctions effectuées par certains ou tous les nœuds disponibles dans les RCSFs. En raison des différences de base entre réseaux fixes et des réseaux ad hoc généraux, la sécurité dans les RCSFs devrait être examinée avec beaucoup plus de minutie [CS08].

## 16.1. Analyse de vulnérabilité :

Quelques faiblesses sont inhérentes à la nature des RCSFs et d'autres à la technologie retenue pour leur mise en œuvre et leur déploiement. Il existe deux catégories de précarité : la vulnérabilité physique et la vulnérabilité technologique.

Les mécanismes de routage sont d'autant plus critiques dans les RCSFs que chaque nœud participe à l'acheminement des paquets à travers le réseau. La puissance de calcul d'un nœud est fortement limitée [CS08].

## 16.2. Buts de sécurité :

Les services de sécurité dans un RCSF devraient protéger les informations qui circulent sur le réseau contre les attaques. Les exigences de sécurité les plus importants dans les réseaux de capteurs sont énumérés ci-dessous :

### ▪ Confidentialité :

Le mécanisme de sécurité doit s'assurer que les messages transmis sur le réseau ne sont compris que par leur destinataire. Ceci est particulièrement important dans le cas des réseaux sans fil où les données sont transmises en utilisant une fréquence radio et n'importe qui avec un récepteur radio peut intercepter les données. Les mécanismes utilisés pour atteindre la confidentialité comprennent la cryptographie. Cette dernière permet de transformer un message en clair en un message chiffré [CS08].

### ▪ Authentification :

Le rôle d'un intrus n'est simplement pas limité à changer le contenu du paquet de données mais il peut aussi ajouter des paquets supplémentaires. Ainsi le récepteur doit s'assurer que les données proviennent de la source réelle de données et non d'un intrus. D'autre part, l'authentification dans le réseau de capteur est essentielle pour plusieurs raisons comme la transmission des valeurs mesurées vers la station de base. L'authentification des données est généralement obtenue en ajoutant un code d'authentification de message (MAC) dans le message. Ce champ MAC est calculé sur l'ensemble du message envoyé en utilisant une clé secrète connue uniquement par l'expéditeur et le destinataire légitime. Par conséquent, les attaquants sont empêchés de modifier les messages ou l'injection de faux messages [CS08].

### ▪ Intégrité :

C'est un service qui assure que les informations n'ont pas été modifiées durant la

transmission. Cela concerne la protection contre l'insertion ou le changement du contenu des paquets. Le MAC comme il est utilisé pour l'authentification, il est aussi utilisé pour l'intégrité des données. Pour s'assurer que les informations reçues n'ont pas été modifiées, le récepteur calcule le MAC et le compare avec celui qui est envoyé par l'émetteur [CS08]

### ▪ Fraîcheur :

La fraîcheur permet de garantir qu'aucun adversaire n'a pas renvoyé les anciens messages et assure que les données sont récentes. Cette exigence est importante lorsque les nœuds utilisent des clés partagées pour l'échange des messages, en utilisant l'ancienne clé au moment où la nouvelle clé est en cours d'actualisation et propagation à tous les nœuds du réseau [CS08].

### ▪ Disponibilité :

La disponibilité permet de préciser si le réseau est libre pour la communication des messages et si le nœud a le droit d'utiliser ses ressources. Cette exigence garantit la disponibilité des services d'un RCSF, même si l'un des attaques internes ou externes est présent comme l'attaque par déni de service [CS08].

### ▪ Contrôle d'accès :

Tout élément étranger au système doit être empêché à accéder au réseau. Le contrôle d'accès aide à détecter les messages envoyés par des sources étrangères [CS08].

## 17. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs, en parlant sur l'architecture, composants, fonctionnement, topologies utilisés, applications, ainsi que les caractéristiques et limites. Ainsi nous avons montré l'importance des réseaux de capteurs sans fil, qui sont en plein développement et deviennent de plus en plus répandus.

Actuellement, ils constituent un thème de recherche très dynamique, tiré vers le haut, par leurs utilisations dans divers domaines. En effet, leurs applications sont de plus en plus nombreuses et diversifiées. Cependant la réalisation de ces applications pose de grands défis auxquels il faut répondre ; le routage de ces réseaux est l'un des défis les plus importants à considérer.

Dans le chapitre suivant, nous introduirons en détail le routage dans les réseaux du capteur sans fil.

# ***Chapitre II :***

***Les Méthodes d'accès  
au media Et Les  
Protocoles de Routage  
dans RCSFs.***

## 1. Introduction :

Un support de transmission sans fil est caractérisé par sa nature de diffusion et la transmission d'un nœud est reçue par tous les nœuds voisins, De ce fait, chaque nœud partage le canal de transmission avec les nœuds qui sont dans son rang de transmission. En conséquence, la conception d'un protocole d'accès au media est très importante ce qui nous allons montrer dans la première partie de ce chapitre, les méthodes d'accès au media dans les RCSFs et leurs classifications ainsi que le principe de chaque d'une eux.

Le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau de connexion donné. Le problème de routage consiste à déterminer un acheminement optimal des paquets à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance.

Dans la deuxième partie on va mettre en évidence les défis du routage dans les RCSFs et quelques protocoles de routages et leurs classifications précisément le protocole du routage à plat par inondation.

### **Partie 1 : les méthodes d'accès au média dans les RCSFs**

## 2. Les Méthodes d'accès au média :

Pour éviter des erreurs lors de la transmission de données dans les réseaux partagés, il est nécessaire d'éviter les collisions entre plusieurs émetteurs. Cependant, selon le média et d'autres paramètres (débit, distance, codage...), il n'est pas possible d'utiliser une seule et unique méthode. [RT1]

## 3. Classification des méthodes d'accès au média : [RT1]

Les méthodes d'accès au média peuvent être classifiées en deux classes :

- Méthodes d'accès par réservation (statique)
- Méthodes d'accès par contention (dynamique)

### 3.1. Les Méthodes accès par réservation (statique) [RT1] :

#### 3.1.1. Méthode TDMA (Time division multiple Access) :

Pour la technique TDMA (Time Division Multiple Access), c'est une technique d'accès statique qui est utilisée dans la plupart des systèmes de communication numériques, notamment dans les systèmes GSM (Global System for Mobile communications) et dans de nombreux réseaux de capteurs sans fils. Cette méthode d'accès appelée aussi multiplexage temporel, se base sur la répartition des ressources dans le temps. Les utilisateurs émettent sur le même canal chacun à son tour, les uns après les autres afin d'éviter les collisions.

Autrement dit, l'utilisateur maître alloue cycliquement un temps de parole fixe à chaque utilisateur du réseau. Cette méthode s'utilise généralement avec un maître fixe. Elle permet donc de connaître avec certitude le temps de transfert d'un message. Par contre, elle peut conduire à un gaspillage des ressources dans le cas où les utilisateurs n'utilisent pas nécessairement leur temps de parole à chaque cycle [RT1].

- **Principe** : découpage du canal fréquentiel en trames (et slots)
- **Avantage** : 1 seule porteuse, simplifie la partie RF.
- **Inconvénients** :
  - synchronisation temporelle fine
  - étalement temporel, délais (mobiles à distance différente).

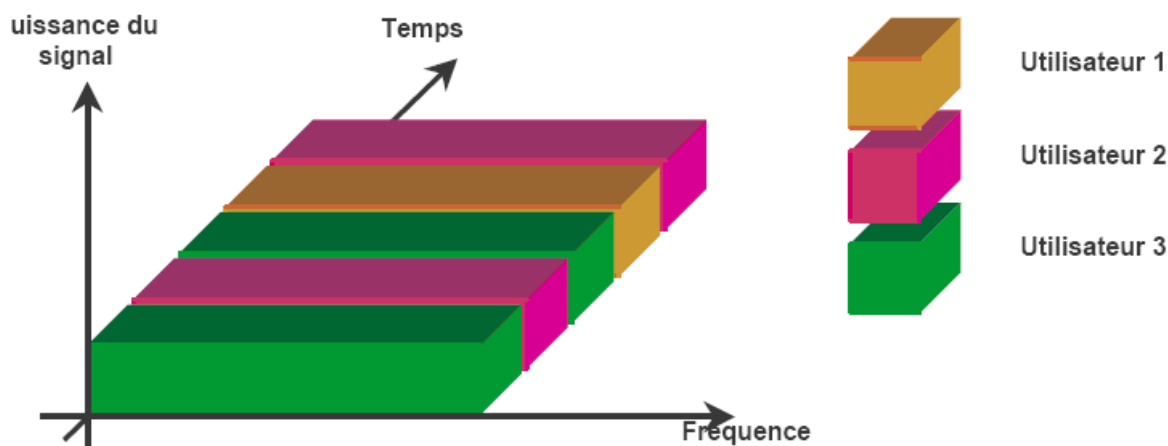


Figure2.1 : Technique d'accès multiple TDMA. [RT1]

### 3.1.2. Méthode FDMA (Frequency division multiple Access) :

Appelée aussi multiplexage fréquentiel, cette technique permet de différencier les utilisateurs par une simple différenciation de fréquence. La bande de fréquences du réseau est subdivisée

En sous-canaux et chaque utilisateur n'a le droit d'émettre que sur un seul sous-canal qui lui est réservé.

C'est la technique la plus utilisée en communications radiofréquences. Dans ce type de méthode, l'utilisation d'un filtre passe-bas à l'émission est indispensable pour que le message à transmettre ait une bande passante bien définie.

• **Principe** : Découpage de la bande de fréquences en plusieurs porteuses.

**Avantage** : simplicité, proche d'un système analogique (radiocom2000).

**Inconvénient majeur** :

Faible utilisation spectrale / interf. Élevées

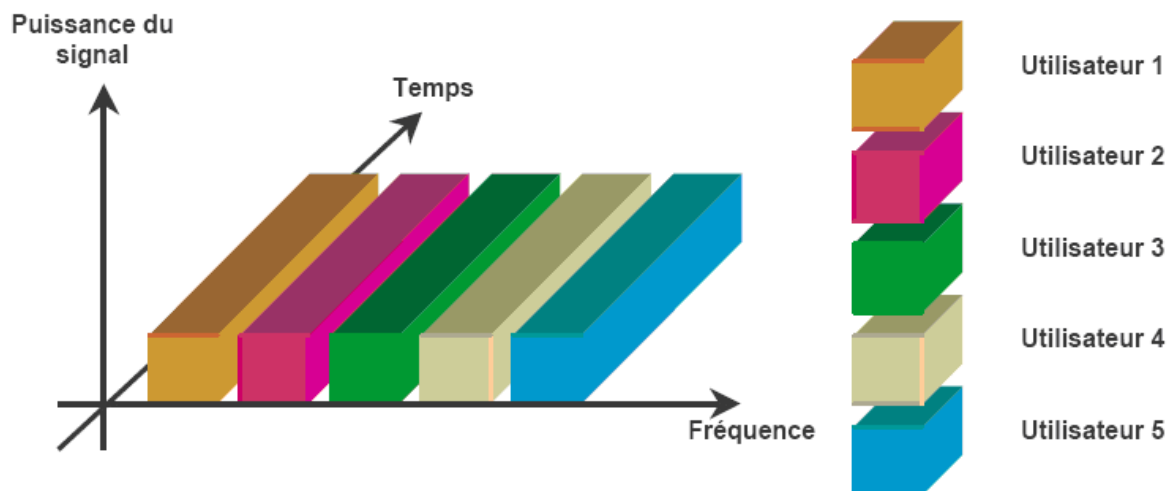


Figure2.2 : Technique d'accès multiple FDMA. [RT1]

**Remarque :**

Les deux techniques d'accès TDMA et FDMA posent quelques problèmes :

- Lorsque le nombre d'émetteurs est élevé et varie sans cesse.
- Lorsque le trafic est sporadique (Discret).
- Lorsque certains participants autorisés à émettre sont inactifs

### 3.1.3. Méthode CDMA :

Le mode CDMA (Code Division Multiple Access) est une technique d'accès multiple basée sur l'étalement de spectre développée principalement pour les systèmes de téléphonie de troisième génération. Les utilisateurs partagent la même bande de fréquence et transmettent sur le même intervalle temporel [RT1].

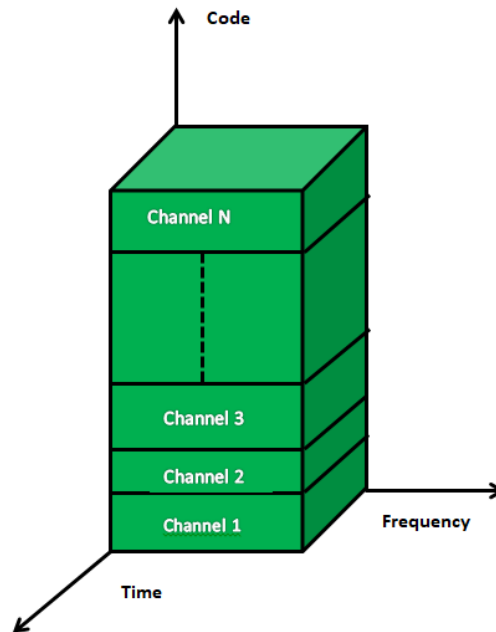


Figure2.3 : Technique d'accès multiple CDMA. [RT1]

#### 3.1.3.1. Le principe de méthode CDMA [RT2]:

- Allocation de la totalité de la bande de fréquences
  - À tous les utilisateurs
  - De manière simultanée
- Chaque bit envoyée est multipliée par un signal (le code, indépendant des données).
- Code binaire particulier à chaque utilisateur
- Le choix adéquat des codes de chaque émetteur permet aux récepteurs de reconstituer le message reçu
- Un code n-bit unique (Chip sequence) assigné à chaque utilisateur
  - Transmission de 1 => envoi de la chip sequence
  - Transmission de 0 => envoi de la chip sequence inversée (Complémentée à 1)

- Exemple 8-bit chip séquence : 11010111  
Transmission de 1 => envoi de 11010111  
Transmission de 0 => envoi de 00101000

Chip Sequence	1 1 0 1 0 1 1 1
Spreading Sequence	1 1 -1 1 -1 1 1 1
Transmission de '1'	1 1 -1 1 -1 1 1 1
Transmission de '0'	-1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1
Pas de transmission	0 0 0 0 0 0 0 0

**Tab 2.2 :** Le principe de méthode CDMA.

- Lorsque les stations émettent en même temps les signaux s'ajoutent linéairement :
- Décodage : produit du signal reçu et de la spreading sequence correspondant à la station dont on veut décoder le signal

$$\text{Decodage} = \frac{1}{n} \sum (S_i * C_i)$$

Où : n est la longueur de la spreading sequence.

### 3.1.3.2. Exemple du CDMA :

- Soient trois utilisateurs qui partagent un canal tel que :  
U1 : data : 00 et code : 0101  
U2 : data : 10 et code : 0011  
U3 : data : 11 et code : 0000
- La séquence envoyée par chaque utilisateur est :  
U1 : 1 -1 1 -1 1 -1 1 -1  
U2 : -1 -1 1 1 1 1 -1 -1  
U3 : -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
- Le signal composé par la transmission en parallèle :  
-1 -3 1 -1 1 -1 -1 -3
- Décodage de la séquence envoyé par U1 :  
bit1 :  $(-1 * -1 + -3 * 1 + 1 * -1 + -1 * 1) / 4 = -4 / 4 = -1$   
bit2 :  $(1 * -1 + -1 * 1 + -1 * -1 + -3 * 1) / 4 = -4 / 4 = -1$

### 3.1.3.3. Les avantages et les inconvénients du CDMA : [RT3]

#### ✚ Les Avantage :

- Le canal CDMA n'est pas décodable efficacement, il offre donc des protections de correspondance cellulaire par incréments.
- CDMA a une efficacité de portée la plus remarquable.
- Il a une meilleure exécution multipath
- CDMA n'a pas besoin de synchronisation.
- Simple d'ajouter de nombreuses quantités de clients.
- Le plan de réutilisation de récurrence est plus simple à superviser.

#### ✚ Les Inconvénient :

- En CDMA, la synchronisation de l'heure est requise.
- L'exécution du framework CDMA se dégrade avec une augmentation du nombre de clients.
- Au moment où la quantité de clients augmente, la nature générale de l'administration diminue.
- Le problème de proximité apparaît lorsque nous utilisons des stratégies CDMA.
- Dépenses plus importantes en raison de l'équipement plus remarquable.

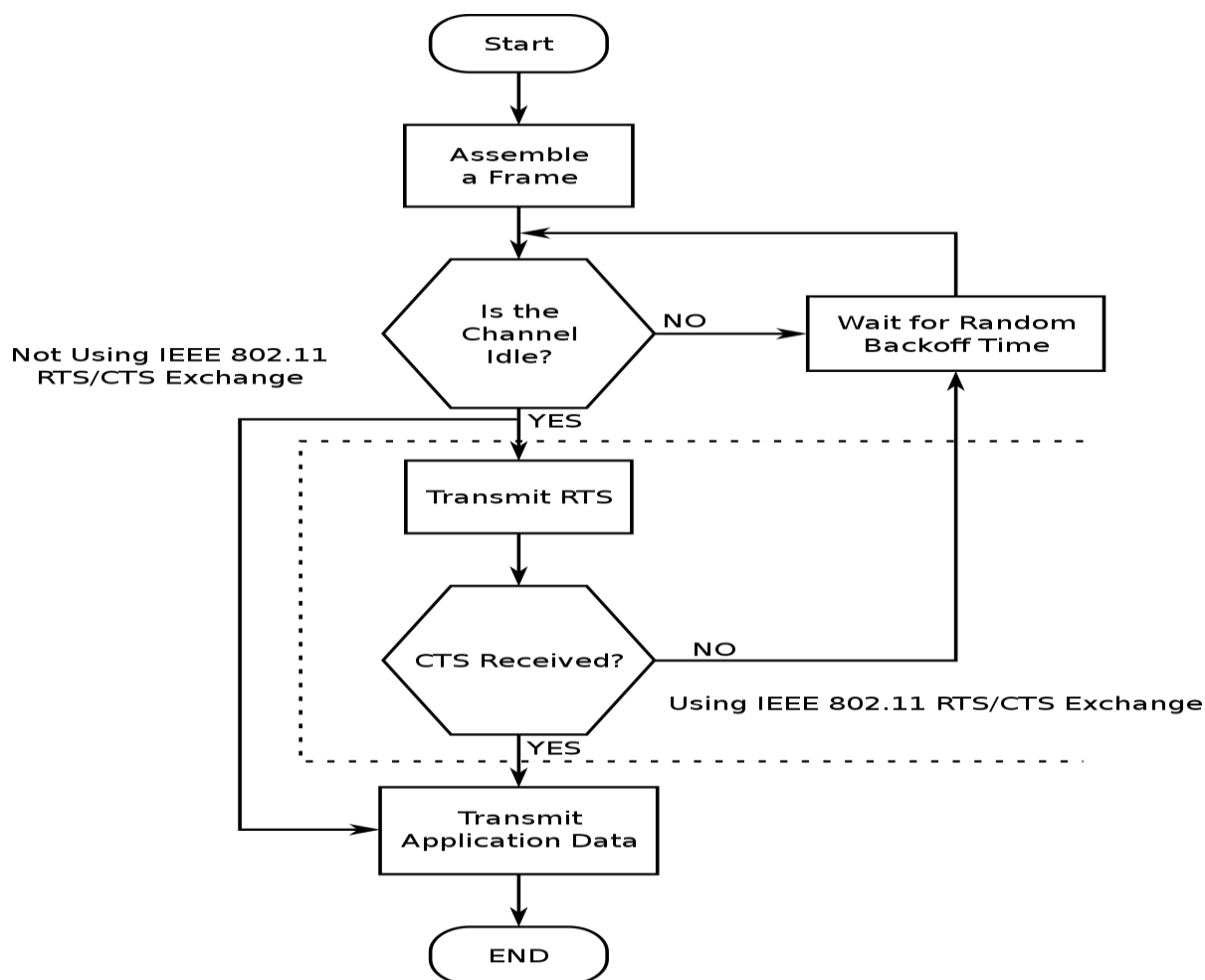
## 3.2. Les Méthodes accès par contention (dynamique) : [RT3]

### 3.2.1. Méthode CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) :

CSMA (en français : accès multiple avec écoute de la porteuse) est une méthode de base qui contrôle la communication de plusieurs participants sur un support de transmission partagé et décentralisé. Cependant, il est désormais disponible en trois variantes différentes, qui dépendent du support de transmission. Alors que CSMA/CA est principalement utilisé dans les réseaux sans fil :

- **Carrier Sense (CS)** : l'idée est que les participants ne peuvent envoyer des données via le réseau que si le support de transmission est libre. Le support de détection d'état vérifie donc le canal à tout moment. Les données ne sont pas envoyées tant que le canal n'est pas disponible.
- **Multiple Access (MA)** : plusieurs stations partagent un même support de transmission. Pour que la communication soit efficace, il est essentiel qu'elles adhèrent à un protocole contraignant.

- **Collision Avoidance (CA)** : un plan de structure complexe tente de s'assurer que deux participants ou plus ne démarrent pas une transmission en même temps. Cela permet donc d'éviter les collisions. S'il se produit néanmoins des chevauchements, ceux-ci sont détectés et la transmission est alors réessayée

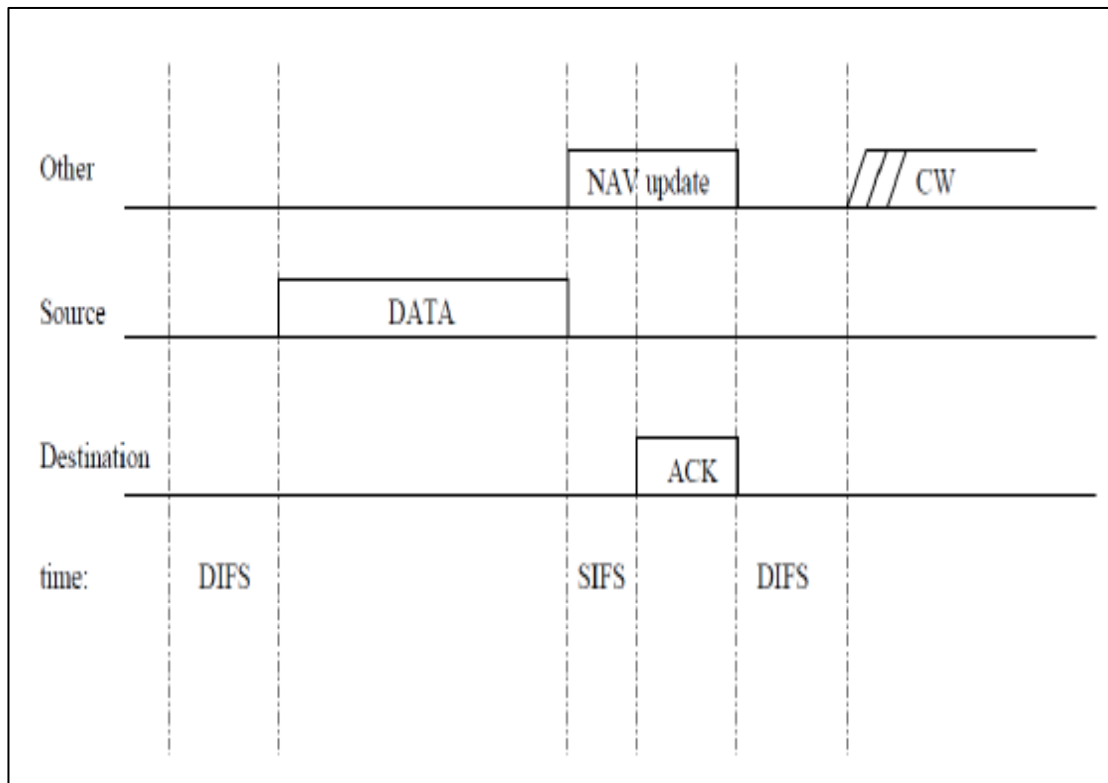


**Figure2.4:** Accès par CSMA/CS. [RT3]

### 3.2.1.1. Principe de fonctionnement de CSMA/CA : [RT3]

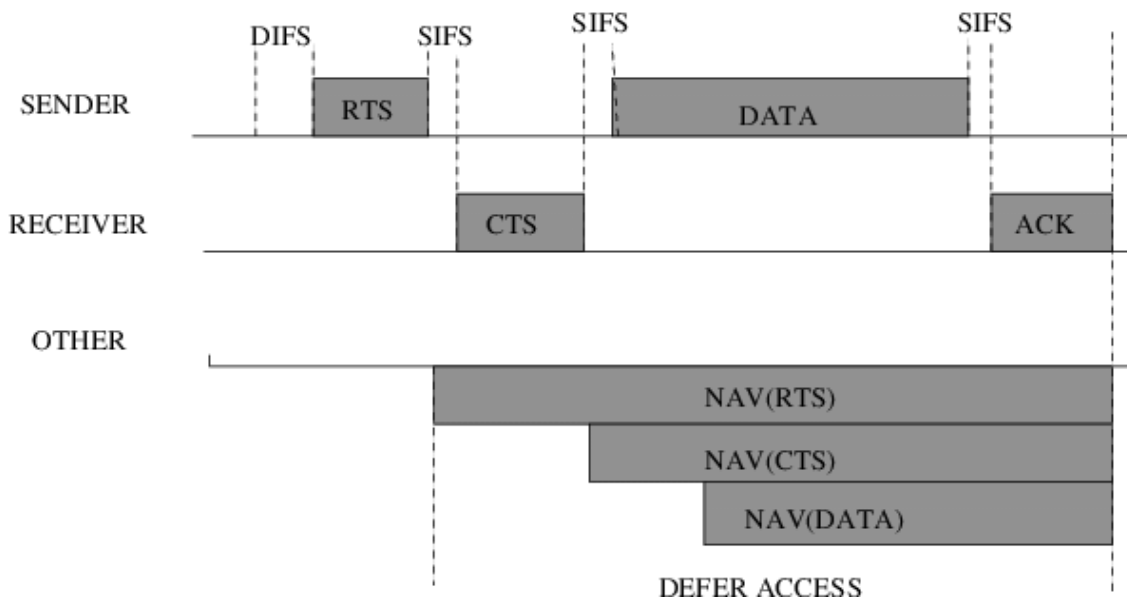
Considérons la version basique du CSMA/CA, représentée sur la Figure 1. Chacun des nœuds ayant un paquet à transmettre doit d'abord sonder le canal. Si le canal est détecté comme inactif pendant une période supérieure à une durée prédéfinie (DIFS), le nœud envoie son paquet de données. Après la réception correcte d'un paquet de données, un accusé de réception (ACK) est renvoyé. Si le canal n'est pas libre, le nœud diffère sa transmission. Un compteur d'attente aléatoire est alors généré dans l'intervalle  $[0, CW - 1]$  où  $CW$  est une variable appelée fenêtre de contention. Lorsque le canal est détecté libre, le

compteur d'attente est décrémenté d'une unité. Si le canal est détecté occupé le compteur sera figé. Le nœud envoie son paquet de données lorsque le compteur atteint 0. Si un accusé de réception est bien reçu, la transmission est réussie et la variable CW est initialisée à la valeur CW min. En cas d'échec de transmission, la variable CW est doublée jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur maximale, CW max. [RT3]



**Figure2.5 : CSMA/CA Basique. [RT3]**

Lorsque le mode RTS/CTS est active par le nœud possédant un paquet a transmettre, ce dernier transmet un message de demande d'accès RTS comme représente sur la Figure 3. Si Le paquet RTS est reçu sans collision, un CTS est renvoyé pour informer tous les nœuds dans la cellule que le canal est réserve. Tous les nœuds reportent leurs transmissions pour la durée spécifique dans le message RTS: ce mécanisme est appelé détection virtuelle. Après la réception réussie d'un paquet de données, un paquet d'acquiescement (ACK) est renvoyé. Si le canal n'est pas libre, le nœud diffère sa transmission. Un compteur d'attente aléatoire est alors génère dans l'intervalle  $[0;CW-1]$ . Sous l'hypothèse d'une transmission sans perturbation et d'un sondage parfait du canal, les collisions ne peuvent se produire que sur les paquets RTS et CTS. La transmission des paquets de données peut donc se dérouler sans interférence des autres nœuds. [RT3]



**Figure2.6** : CSMA/CA - RTS/CTS. [RT3]

**3.2.1.2. Les avantages et les inconvénients de CSMA/CA :**

CSMA/CA résout certains problèmes qui surviennent dans les réseaux sans fil et qui ne peuvent pas être résolus par CSMA/CD. Cependant, le processus n'est pas sans inconvénient : d'une part, certains cas problématiques ne peuvent pas être résolus complètement et, CSMA/CA apporte de nouvelles difficultés [RT3].

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aide a prévenir les collision des données.</li> <li>○ Grace a la rétroaction, les données ne sont pas perdues.</li> <li>○ Evite le trafic de données inutile avec l'extension RTS/CTS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Etabli un temps d'attends.</li> <li>○ Provoque du trafic supplémentaire.</li> <li>○ Résout le problème des stations cachées uniquement par extension RTS/CTS.</li> <li>○ Cree le problème de la station exposée par l'intermédiaire de RTS/CTS.</li> </ul>

**Tab2.3** : Les avantages et les inconvénients de CSMA/CA. [RT3]

**Partie 2 : les Protocol de routage dans les RCSFs****4. Définition le Routage :**

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. [RT1]

Le routage est un ensemble d'opérations dont le but est de trouver un chemin qui minimise la consommation d'énergie pendant le transport des données. On distinguera le routage des données et le routage des requêtes :

- Routage des données : Se fait d'un capteur a un autre capteur, ou au point de contrôle, ou au utilisateur à travers le réseau.
- Routage des requêtes : Peut provenir du capteur, du point de contrôle ou de l'utilisateur jusqu'à ce que le capteur détecte le stimulus [RT1]

**5. Les défis du routage dans les RCSF :****➤ La consommation d'énergie :**

Du fait des ressources énergétiques limitées dans les capteurs sans fil, la gestion de la consommation de l'énergie est le défi principal des protocoles de routage. La consommation d'énergie dans le cadre du routage peut être l'effet d'une recherche de voisinage ou d'un traitement de paquet ou de sa transmission [RT2].

**➤ Extensibilité :**

Dans les réseaux à grande densité de nœuds, l'information sur la position de chaque noeud peut être difficile à accéder. Par conséquent, il est nécessaire de développer des protocoles de routage où l'information sur la topologie n'est plus nécessaire. Les noeuds doivent donc supporter des informations de la part d'un grand nombre de noeuds sans entrave à la consommation énergétique [RT2].

**➤ Adressage :**

Les mécanismes d'adressage facilitent la communication entre les voisins. Cependant, lorsque le nombre de noeuds est important, l'information nécessite une communication multi-hop (plusieurs intermédiaires). Ceci provoque un phénomène de saturation dû à la juxtaposition des adresses des intermédiaires. Les protocoles de routage doivent donc supporter des mécanismes de prévention contre la saturation (Overhead) où l'adresse de chaque noeud n'est pas requise [RT2].

➤ **Robustesse:**

Au cours du routage, un noeud peut subir une panne et empêcher le déroulement de ce processus. Les protocoles de routage doivent supporter des mécanismes de gestion de ce genre d'imprévus qui sont dus au canal ou aux composants du capteur, et ainsi de ne pas affecter l'efficacité du routage lors d'une perte de paquet [RT2].

➤ **Topologie:**

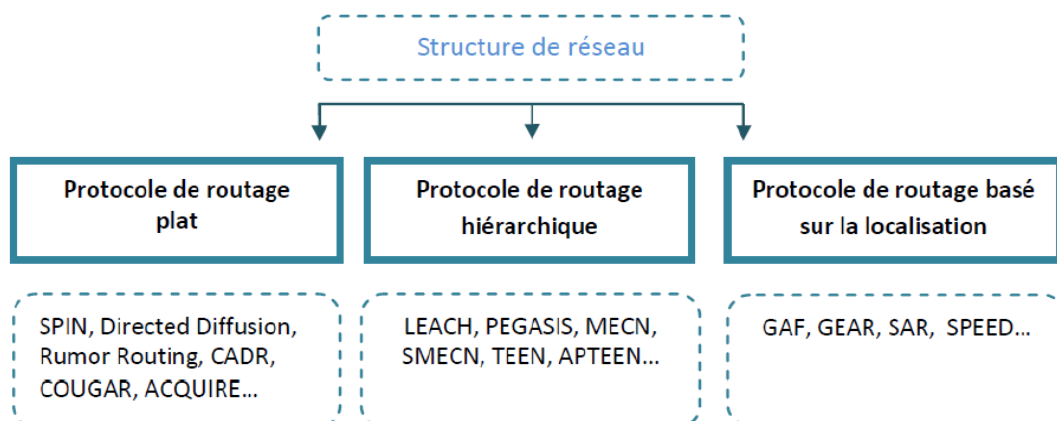
Le déploiement des capteurs peut se faire de façon prédéfinie ou, plus souvent de façon complètement aléatoire. Généralement, les capteurs ne connaissent pas la topologie et donc la position de leurs voisins, ce qui affecte directement les performances du routage. Les protocoles de routage doivent donc supporter des méthodes de découverte de voisinage et de son entretien afin de fournir à chaque noeud une connaissance de la topologie qui l'entoure ; surtout s'il existe des noeuds mobiles, ce qui est le cas pour certains réseaux sans fil [RT2].

➤ **Application :**

Le type de la couche d'application influence directement le choix du protocole de routage. Dans les applications de contrôle d'un processus quelconque, les capteurs transmettent des informations à la destination de façon périodique, ce qui nécessite généralement des routes statiques. Dans les applications basées sur les événements, le capteur est souvent en mode veille. À l'arrivée du premier événement, une route doit être établie pour délivrer l'information [RT2].

## 6. Classification des protocoles de routage dans les RCSF : [RT3]

Les protocoles de routage pour les RCSF ont été largement étudiés, et différentes études ont été publiées. Il existe trois classes principales de protocoles :



**Figure2.7:** Protocoles de routage pour les RCSF selon la structure du réseau. [RT3]

## 6.1. Routage à plat :

Ces protocoles considèrent que tous les nœuds sont identiques, c'est à dire ont les mêmes fonctions à exécuter sauf le nœud de contrôle (*sink*) qui est chargé de collecter toutes les informations issues des différents noeuds capteurs pour les transmettre vers l'utilisateur final. [RT3]

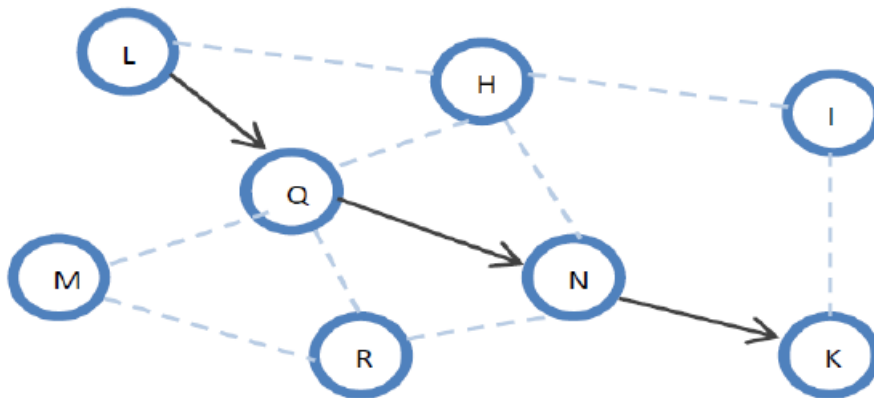


Figure 2.8: Routage à plat.

### 6.1.1. Les protocoles du routage à plat :

On trouve dans cette catégorie plusieurs protocoles :

#### A. Routage par inondation : [RT4]

- La source diffuse le paquet de données vers tous les voisins.
- Chaque nœud qui reçoit le paquet le rediffuse vers tous ses voisins.
- Un numéro de séquence est utilisé pour éviter de recevoir plusieurs copies du même paquet.
- Un nœud ne rediffuse pas un paquet plus qu'une fois.
- La destination ne rediffuse pas le paquet.

#### A.1. Avantages et inconvénients du routage par inondation :

##### ✚ **Avantage :** [RT4]

- Le paquet de donnée atteint la destination.

**✚ Inconvénient : [RT4]**

- Plusieurs nœuds reçoivent le paquet envoyé, et dans le pire des cas tous les nœuds le reçoivent.

**B. Dynamic Source Routing DSR : [RT7]**

Le protocole "Routage à Source Dynamique" (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 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 réussite, l'initiateur reçoit un paquet réponse de route qui liste la séquence de noeuds 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 noeuds visités durant la propagation de la requête dans le réseau.

**B.1. Avantages et inconvénients du protocole DSR: [RT7]****✚ Avantage : [RT7]**

- 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.
- 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.

**✚ Inconvénient : [RT9]**

- Délai initial avant de commencer la transmission des données.
- Taille des paquets de données très grandes quand le nombre de noeud dans réseau est grand.

**C. Ad Hoc on Demand Distance Vector Routing AODV: [RT4]**

- Les paquets RREQ sont diffusés à la demande.
- Chaque nœud qui reçoit un paquet RREQ :
  - Rediffuse le paquet
  - Installe un chemin inverse vers la source.
- Lorsque la destination reçoit le paquet RREQ, elle répond par un paquet RREP
- Le paquet RREP suit le chemin inverse.
- Les entrées de la table de routage de chaque nœud intermédiaire sont utilisées pour acheminer les paquets de données.

### C.1. Avantages et inconvénients du routage AODV :

#### + **Avantage :**

- 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).

#### + **Inconvénient [RT9]:**

- Un inconvénient d'AODV est qu'il n'existe pas de format générique des messages. Chaque message a son propre format : RREQ, RREP, RERR.

### 6.2. Routage hiérarchique :

Ces protocoles fonctionnent en confiant des rôles différents aux nœuds du réseau. Certains nœuds sont sélectionnés pour exécuter des fonctions particulières. Un nœud peut être, par exemple, une passerelle pour un ensemble de nœuds. Dans ce cas, le routage devient plus simple, puisqu'il s'agit de passer par les passerelles pour atteindre le nœud destination qui lui est directement attaché [RT3].

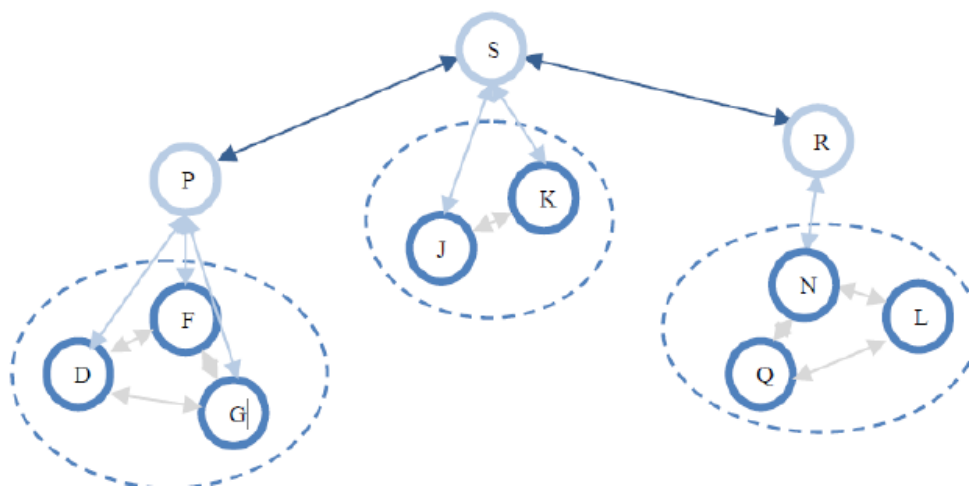


Figure 2.9 : Routage hiérarchique. [RT3]

#### 6.2.1. Les protocoles du routage hiérarchique :

##### A. LEACH [RT4]:

- Il est basé sur l'organisation des nœuds en groupes appelés clusters.
- Dans chaque cluster, un nœud est élu comme chef de groupe appelé Cluster Head.
- Les chefs de groupes élus demeurent ainsi pour une période de temps appelée 'round'.
- La sélection du chef de groupe adéquat se base sur plusieurs paramètres prédéterminés.
- Les nœuds communiquent directement avec le CH de son cluster.

- Les Cluster Head sont responsables de l'acheminement des paquets vers le cluster de la destination.
- A la fin, le Cluster Head de la destination ramène les paquets au nœud destinataire.

### A.1. Avantages et inconvénients du LEACH :

#### ✚ **Avantage** [RT8]:

- Équilibrage de la consommation énergétique
- Agrégation des données

#### ✚ **Inconvénient** [RT8] :

- Les Cluster Heads sont choisis sans tenir compte de leurs énergies restantes
- Problème de couverture

### B. SAR (Sequential Assignment Routing): [RT3]

SAR est une approche multi-chemins qui s'efforce à réaliser l'efficacité énergétique et la tolérance aux fautes. SAR crée des arbres en prenant en compte les métriques QoS, la ressource énergétique sur chaque chemin et le niveau de priorité de chaque paquet. En utilisant ces arbres, des routes multiples du 'sink' aux capteurs sont formés. Une ou plusieurs routes peuvent, alors, être emprunter.

#### B.1. Avantages et inconvénients du SAR :

##### ✚ **Avantage** [RT8]:

- Recouvrement facile en cas de défaillance des nœuds
- Faible latence lors des transmissions vers la station de base

##### ✚ **Inconvénient** [RT8]:

- La charge de maintenance des états des nœuds dans le cas des réseaux denses

### 6.3. Routage géographique :

C'est une méthode dont les décisions de routage sont basées sur la position des nœuds. Elle consiste à choisir dans la table de routage  $\langle (P_i, S_i) \rangle$  d'un nœud S (dans lequel  $P_i$  est la position géographique d'un nœud et  $S_i$  est l'adresse d'un nœud voisin) le nœud  $S_i$  qui minimise la longueur du chemin à parcourir jusqu'à la destination D [RT5].

Les pré-requis pour effectuer un routage géographique dans un réseau des capteurs sans fil sont [RT3]:

- Tous les noeuds possèdent un moyen de localisation, soit un système natif comme le GPS (*Global Position System*), soit un système logiciel comme un protocole de localisation.
- Un noeud source connaît toujours la position du noeud destinataire. Pour ce faire, soit tous les noeuds connaissent les positions initiales de tous les noeuds, soit un service de localisation doit être utilisé.

Ce protocole apporte une solution au problème de l'explosion des tables de routage dans les réseaux ad hoc, car pour fonctionner cet algorithme n'a besoin que de la connaissance de la topologie du réseau, donc d'une table de routage restreinte. Ensuite on s'assure que le chemin parcouru par le paquet avec cet algorithme est optimal, car il est basé sur la distance géographique.

### 6.3.1. Les catégories du routage géographique:

On distingue trois catégories de protocoles de routage géographique [RT4]:

#### 6.3.1.1. Routage Greedy :

- Les protocoles de cette catégorie basent leur raisonnement sur la trajectoire à vol d'oiseau entre une source et une destination.
- Pour cela, un noeud choisit un voisin parmi ceux qui sont plus proche de la destination pour faire avancer le paquet.
- **Le problème majeur du routage Greedy** : est lorsqu'il n'y a pas de voisins plus proches de la destination (trou).

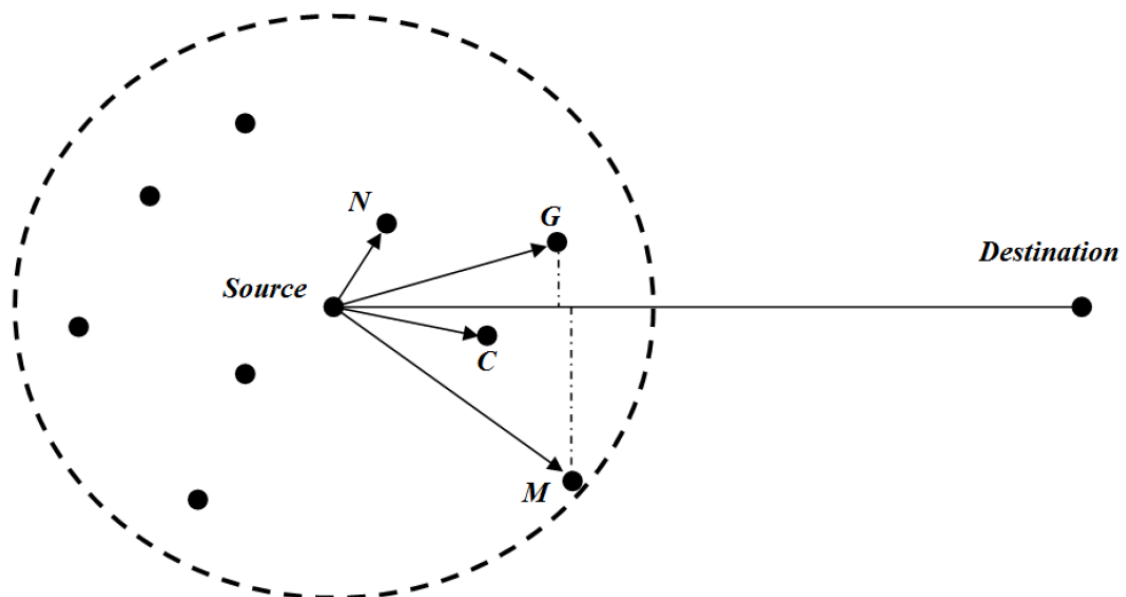


Figure 2.10 : Routage Greedy.

**6.3.1.2 .Routage par face :**

- Capable de surmonter le problème du routage Greedy (le problème des trous).
- C'est une stratégie de routage basée sur un graphe planaire.
- Consiste à traverser les faces d'un graphe planaire en utilisant la technique de la main droite (ou gauche).
- Effectue le changement de face avant de traverser la droite passant par la source et la destination.

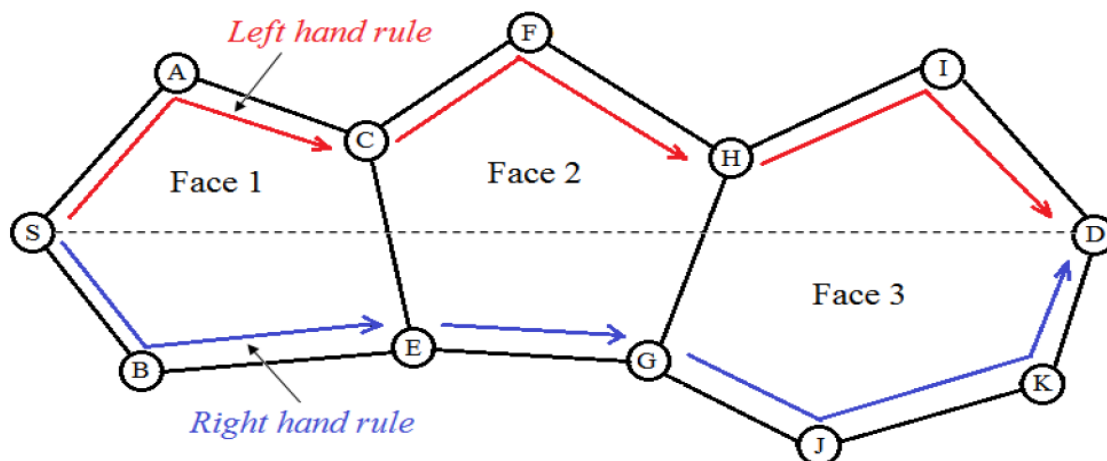


Figure 2.11 : Routage par face.

**6.3.1.3. Routage Hybride :**

- Dans cette classe, les protocoles de routage combinent un algorithme greedy avec le routage par faces.
- Initialement, le paquet est routé avec l'algorithme greedy.
- En présence d'un trou, le paquet est basculé en mode routage par faces pour le contourner.
- Revient dès que possible en mode greedy.

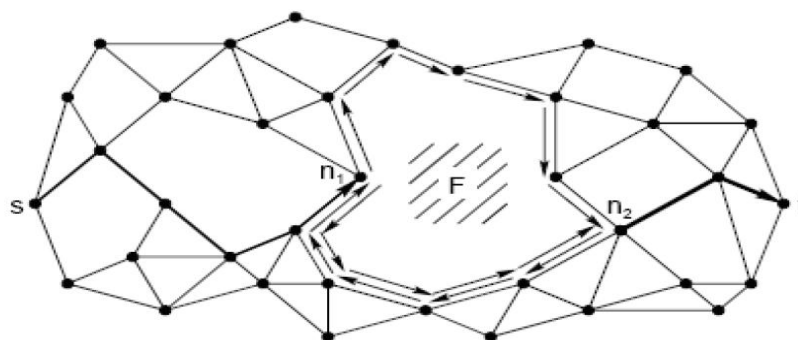


Figure 2.11 : Routage Hybride.

### 6.3.2. Les protocoles du routage géographique:

#### A. Greedy Perimeter Routing Protocol (GPSR): [RT6]

Le protocole GPSR utilise la position géographique des nœuds pour le routage des données ou pour le contrôle des paquets et il suppose que tous les nœuds sont au même niveau d'une zone. Le protocole GPSR permet aux nœuds d'encapsuler leur position dans quelques bits (en-tête) dans les paquets qu'ils transfèrent. Chaque nœud mobile envoie des messages de contrôle (beacon) contenant sa position et son identifiant afin que les autres nœuds puissent connaître sa position et sa direction. L'échange périodique de ces paquets de contrôle permet aux nœuds de construire leur table de position (table de routage). L'un des avantages de ces messages de contrôle est que chaque nœud n'a besoin que d'informations sur ses voisins directs, ce qui nécessite peu de mémoire.

#### A.1. Avantages et inconvénients du protocole GPSR :

##### ✚ **Avantage :**

- Il permet 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 noeuds, la gestion du réseau devient simple.

##### ✚ **Inconvénient :**

- Peut tomber dans une boucle de routage entre la stratégie Greedy for warding et Perimeter for warding[RT6].

#### B. Geographic Adaptive Fidelity« GAF »: [RT9]

GAF (Géographique Adaptive Fidelity) est un protocole de routage basé sur la localisation des noeuds. Il est conçu principalement pour les réseaux mobiles ad hoc, mais peut être applicable aux réseaux de capteurs. La localisation des noeuds dans GAF pour rait être fournie à l'aide d'un GPS ou d'autres techniques de localisation. Il consiste à former des grilles virtuelles de la zone concernée en partitionnant cette zone où les nœuds sont déployés en de petites zones telles que, pour deux grilles adjacentes  $G_x$  et  $G_y$ , tous les noeuds de  $G_x$  peuvent communiquer avec tous les noeuds  $G_y$ . Ainsi, ce système de partitionnement GAF assure la fidélité du routage car il existe au moins un chemin entre un noeud et la station de base.

GAF peut augmenter considérablement la durée de vie du réseau. En effet, un seul noeud dans chaque grille reste à l'état actif en faisant passer les autres noeuds de la grille à l'état de sommeil pour une certaine période de temps tout en assurant la fidélité du routage.

Cependant, dans certains environnements où les noeuds sont fortement mobiles, la fidélité du routage pourrait être réduite si un noeud actif quitte la grille. Ainsi, le nombre de données perdues sera important.

### B.1 .Avantages et inconvénients du protocole GAF : [RT8]

#### ✚ **Avantage :** [RT8]

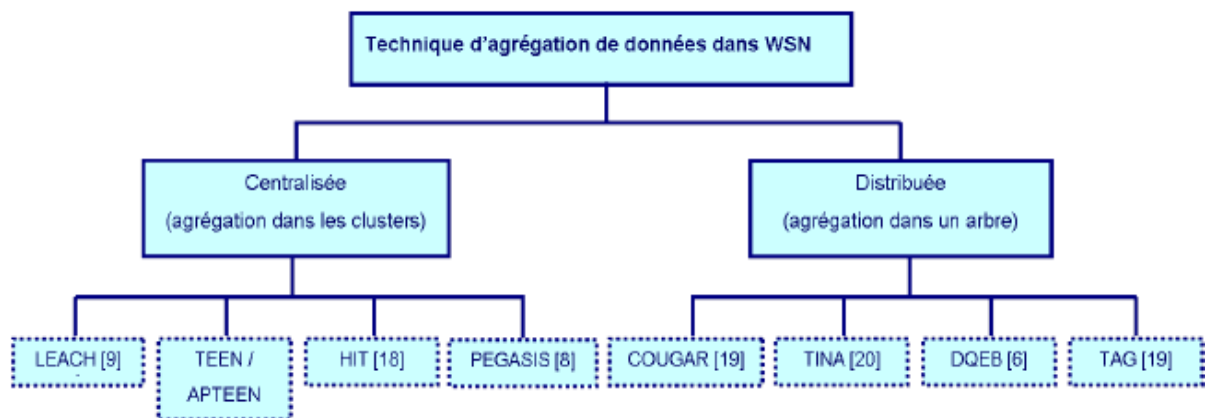
- Prolonge la durée de vie des réseaux

#### ✚ **Inconvénient :** [RT8]

- Routage dépendant de l'emplacement précis des noeuds.

## 7. Agrégation dans les protocoles de routages des RCSF :

On peut classer les différentes techniques d'agrégation de données dans les réseaux de capteurs en deux approches, comme illustre la Figure 2.11 [RT10]



**Figure 2.12 :** Classification de différentes techniques d'agrégation dans les RCSF.

### 7.1. Approche centralisée :

C'est une approche où chaque noeud envoie des données à un noeud central en utilisant la route optimale en utilisant des protocoles de routage multi saut. Les noeuds capteurs envoient simplement les paquets de données à un leader qui est un noeud puissant. Le leader agrège les données qui peuvent être demandées.

Chaque noeud envoie des paquets de données à travers des noeuds intermédiaires au noeud leader, ainsi un grand nombre de messages doivent être transmis pour une requête. Dans les meilleurs cas, il est égal à la somme des longueurs de chemin pour chaque noeud.

L'inconvénient majeur de cette approche est que les réseaux de capteurs exigent à prendre en considération la contrainte de l'énergie et par conséquent l'approche est coûteuse et engendre l'échange de beaucoup de message pour chaque requête. Une amélioration de cette approche est représentée par les protocoles hiérarchiques. [RT10]

### **7.2 .L'approche distribuée :**

C'est une approche centrée-données ou les noeuds intermédiaires peuvent consulter le contenu et agréger les données transportées par les différents paquets qu'ils réceptionnent. La motivation principale de l'agrégation distribuée est que le cout de communication est plus important que le cout de calcul. Elle implique le décalage d'une partie du calcul des clients aux noeuds capteurs agrégeant les résultats ou filtrant les données inutiles, ceci dans le but de réduire le transfert des messages et l'utilisation efficace de la bande passante, pour conserver l'énergie pour une plus longue durée de vie d'un réseau de capteurs. Il peut y avoir deux variations pour l'agrégation dans le réseau : [RT10]

#### **7.2.1. Le fusionnement des paquets :**

L'envoi de différents paquets encourt le surcout d'en-têtes de paquet chaque fois. Une meilleure approche serait d'agréger les paquets et d'envoyer un grand paquet simple. Ceci réduira le cout lié aux en-têtes de paquets. [RT10]

#### **7.2.2. L'agrégation partielle :**

Pour des requêtes d'agrégation, les nœuds intermédiaires peuvent calculer les résultats partiels qui peuvent être utilisées pour calculer les résultats finaux. Ceci économise considérablement l'énergie consommée. La limitation d'une telle agrégation est la gestion fondamentale du réseau, le protocole doit fournir le support pour la synchronisation. En outre la synchronisation augmente le temps de réponse des requêtes. L'arbre de recouvrement est considéré comme la meilleure structure de routage pour une agrégation optimale. [RT10]

## 8. Conclusion :

Les protocoles de communications a accès aléatoires sont des candidats prometteurs pour les futurs systèmes de communications sans fil dédiés aux applications machine a machine (M2M). Ces méthodes d'accès sont généralement basées sur des techniques d'accès aléatoires mettant en œuvre des concepts simples de sondage de canal et de report de la transmission pour réduire les collisions, tout en évitant l'utilisation d'ordonnanceurs complexes.

Les protocoles de routage jouent un rôle très important dans l'établissement d'une communication efficace et sans interruption entre les nœuds source et destination. Les performances, le service et la fiabilité d'un réseau dépendent principalement de la sélection d'un bon protocole de routage.

Les protocoles utilisés dans les réseaux de capteurs sans fil et les réseaux ad hoc doivent être exempts d'erreurs et qui permettent à la fois, de :

- Consommer le moins d'énergie possible,
- Assurer la connectivité du réseau et la couverture du champ surveillé,
- Assurer une livraison fiable et rapide,
- Tolérer aux pannes,
- S'adapter aux changements de topologie ...

Les performances de ces protocoles sont comparées dans différents scénarios sur la base du débit, du retard et de la congestion.

# ***Chapitre III :***

***Conception et modélisation  
de la contribution.***

### 1. Introduction :

Le routage à plat est l'une des techniques les plus simples et les plus utilisées pour router les données dans un réseau de capteurs sans fil. Dans cette technique les nœuds jouent le même rôle et collaborent entre eux pour accomplir la tâche du routage. La source diffuse le paquet de données vers tous les voisins. Chaque nœud qui reçoit le paquet le rediffuse vers tous ses voisins jusqu'à l'arrivée à la destination.

Sachant que les nœuds capteurs sont déployés afin de surveiller un événement physique où le temps d'intervention est un facteur très important. Pour cela, le temps de transmission de bout en bout est une métrique primordiale pour le bon fonctionnement de ces réseaux. Minimiser ce temps de transmission est l'un des objectifs major de notre travail dans ce mémoire de fin d'étude.

### 2. Modèle du réseau :

Dans ce travail, on considère un réseau de capteurs sans fil composé d'un ensemble de nœuds capteurs homogènes et statiques, équipés tous de la même interface réseau full duplex permettant la transmission et la réception en même temps. On suppose que chaque nœud connaît sa position, la position de ses voisins, et la position de la station de base. On suppose aussi que les horloges de tous les nœuds du réseau sont synchronisées.

Nous allons modéliser le réseau par un graphe  $G = (E, V)$ , où  $E$  représente l'ensemble des nœuds capteurs dans le réseau et  $V$  représente l'ensemble des arcs entre ces nœuds. On suppose que chaque nœud  $u$  dans  $E$  a un rang de transmission maximal  $r$ , et que tous les nœuds ont le même rang de transmission. Un arc  $uv$  existe entre les deux nœuds  $u, v$  dans  $E$  si et seulement si la distance euclidienne entre eux est inférieure ou égale au rang de transmission  $r$  (i.e. les deux nœuds peuvent communiquer entre eux).  $Uv$  dans  $V$  si  $dist(u, v) \leq r$ .

### 3. Fonctionnement du protocole :

L'idée de base de notre protocole proposé est de faire combiner le routage à plat par agrégation avec la méthode d'accès au média CDMA. L'objectif de cette combinaison est de réduire le délai de transmission des paquets vers la station de base. En effet, avec la méthode d'accès au média CDMA, tous les nœuds peuvent émettre leurs paquets immédiatement sans attendre que le média de transmission soit libre.

Le protocole proposé s'exécute sur deux phases : la phase de désignation des nœuds qui effectuent l'agrégation et la phase d'acheminement des paquets de données. Dans la première

phase, les nœuds qui effectuent l'agrégation sont sélectionnés : appelés nœuds agrégateur (AN). Tandis que la deuxième phase sert à acheminer les paquets vers la station de base à travers les nœuds agrégateurs (AN).

### 3.1. Phase de désignation des nœuds agrégateurs :

Dans les protocoles de routage plats, tous les nœuds jouent le même rôle. Chaque nœud distribue des données à ses voisins qui se trouvent dans son rang de transmission. Donc beaucoup de données seront envoyées dans le réseau et ça cause sa surcharge et consomme une importante quantité d'énergie.

Pour éviter cela certains nœuds effectuent l'agrégation des données et ils seront désignés comme suit :

On utilise le même modèle du réseau par un graphe  $G = (E, V)$  décrit au début, et on suppose que  $s$  est le rang de transmission de la station de base  $S_b$ .

#### • Cas 1 :

Tous les nœuds qui se trouvent dans la portée de transmission de la station de base et la distance entre eux est supérieure à  $s$ , alors ils seront désignés comme nœuds d'agrégation.

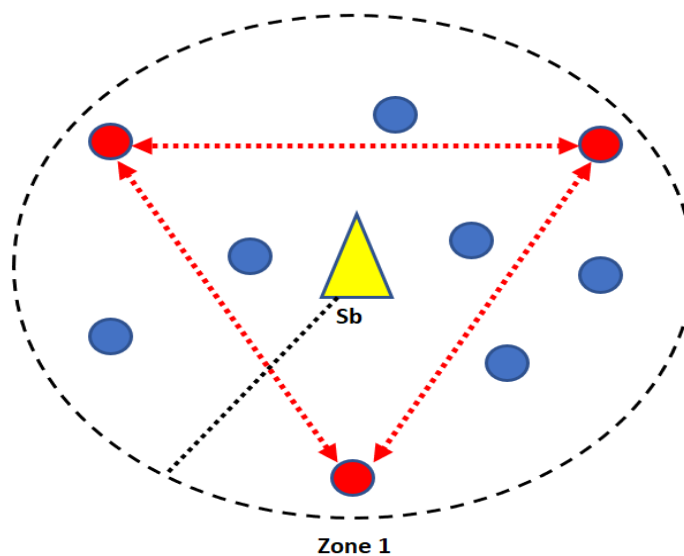
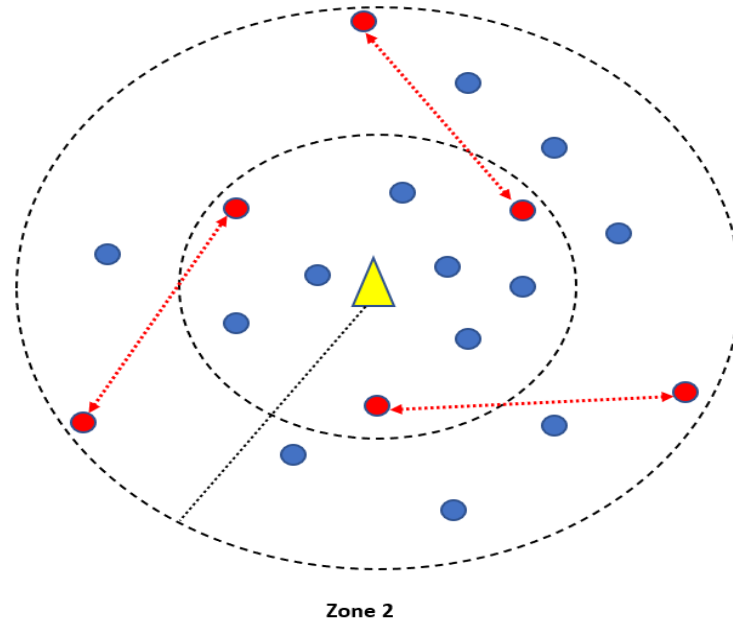


Figure 3.1 : La zone 1 de l'agrégation.

Les nœuds en rouge représentent les nœuds d'agrégation. Ils sont à la portée de transmission de la station de base et la distance entre eux est supérieure à  $s$  (le rang de transmission de  $S_b$ ).

**• Cas 2 :**

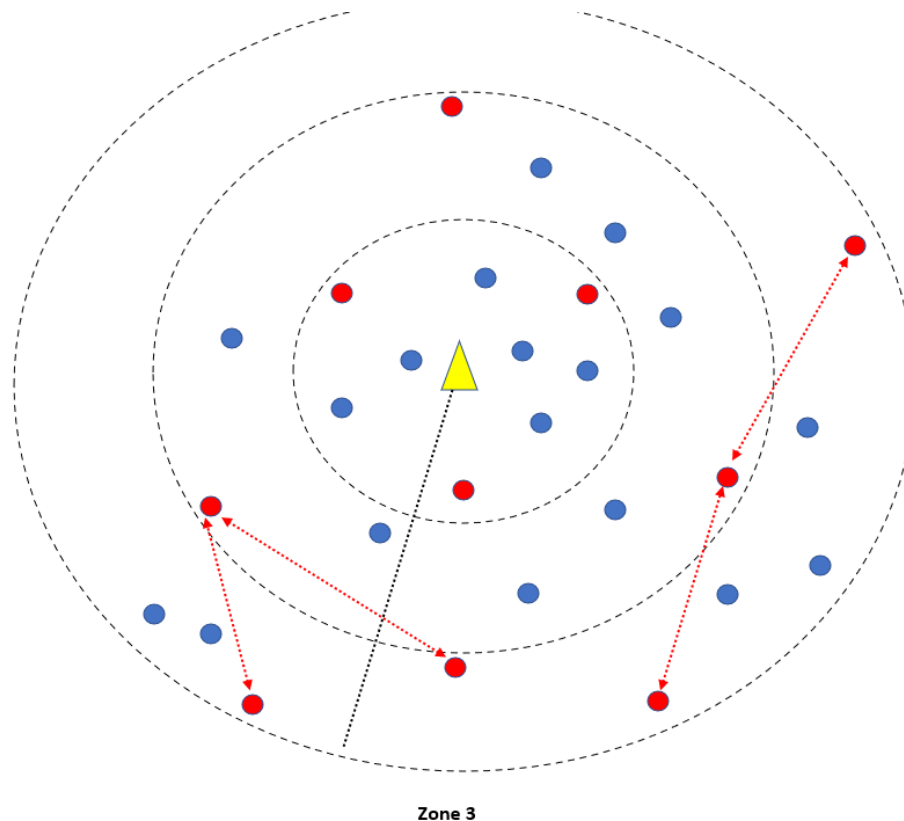
Les nœuds qui se trouvent en dehors de la portée de transmission de la station de base et font partie de la zone dont son rayon est un multiplicateur de  $s$ , et la distance entre eux et les nœuds d'agrégation de la zone précédente est comprise entre le rayon de leur zone et  $s$  (le rang de transmission de  $S_b$ ), sont désignés comme nœuds d'agrégation.



**Figure 3.2 :** La zone 2 de l'agrégation.

La zone 2 dont le rayon est égal à 2 fois le rang de transmission de la station de base. Les nœuds sélectionnés leur distance par rapport aux nœuds d'agrégation de la zone 1 est supérieure à  $s$  (rang de transmission).

La zone 3 dont le rayon est égale à 3 fois le rang de transmission de la station de base. Les nœuds sélectionnés leur distance par rapport aux nœuds d'agrégation de la zone 2 est supérieure à  $s$  (rang de transmission).



**Figure 3.3 :** La zone 3 de l'agrégation.

### 3.2. Phase d'acheminement des paquets :

Dans cette étape, chaque nœud utilise son propre code CDMA (*Chip séquence*) pour accéder au media. L'objectif de cette technique est de permettre aux nœuds situés dans la même portée de transmission de transmettre leurs paquets de données en même temps afin de réduire le délai de transmission de bout en bout. Pour cela, le temps de transmission est soigneusement défini pour garantir le bon fonctionnement du protocole.

On suppose que les horloges de tous les nœuds du réseau sont synchronisées. Après la phase de formation des clusters, un nœud qui a un paquet à envoyer vers la station de base doit attendre le début du prochain cycle d'envoi.

Un cycle d'envoi commence par un temps de repos appelé DIFS. Après le DIFS tous les nœuds ayant un paquet à envoyer commencent la transmission directement. Après la transmission du paquet, tous les nœuds marquent un temps de repos court appelé SIFS en attendant de l'ACK. Une fois l'ACK est reçu, c'est la fin du cycle de transmission. La figure suivante montre la chronologie d'un cycle d'envoi.

Les paquets de données sont envoyés vers tous les nœuds voisins et chaque nœud reçoit le paquet le rediffuse vers ses voisins jusqu'à l'arrivée à la station de base.

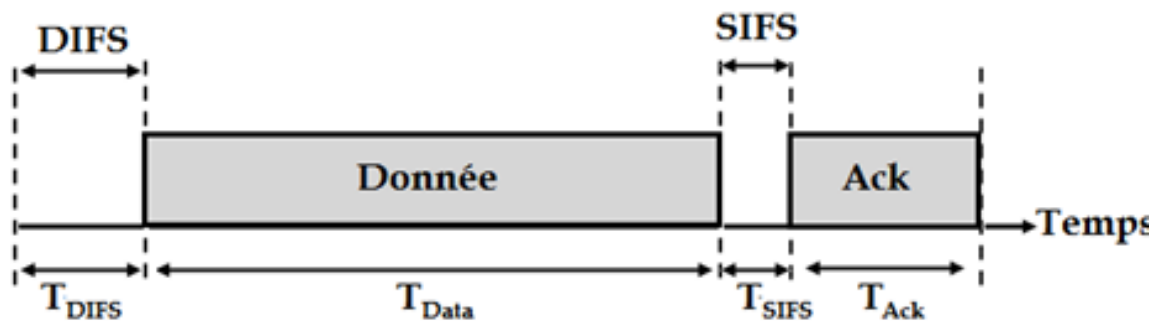


Figure 3.4. Cycle de transmission de notre protocole.

#### 4. Exemple du Routage à plat avec la méthode CDMA :

- Les nœuds qui effectuent l'agrégation sont sélectionnés.

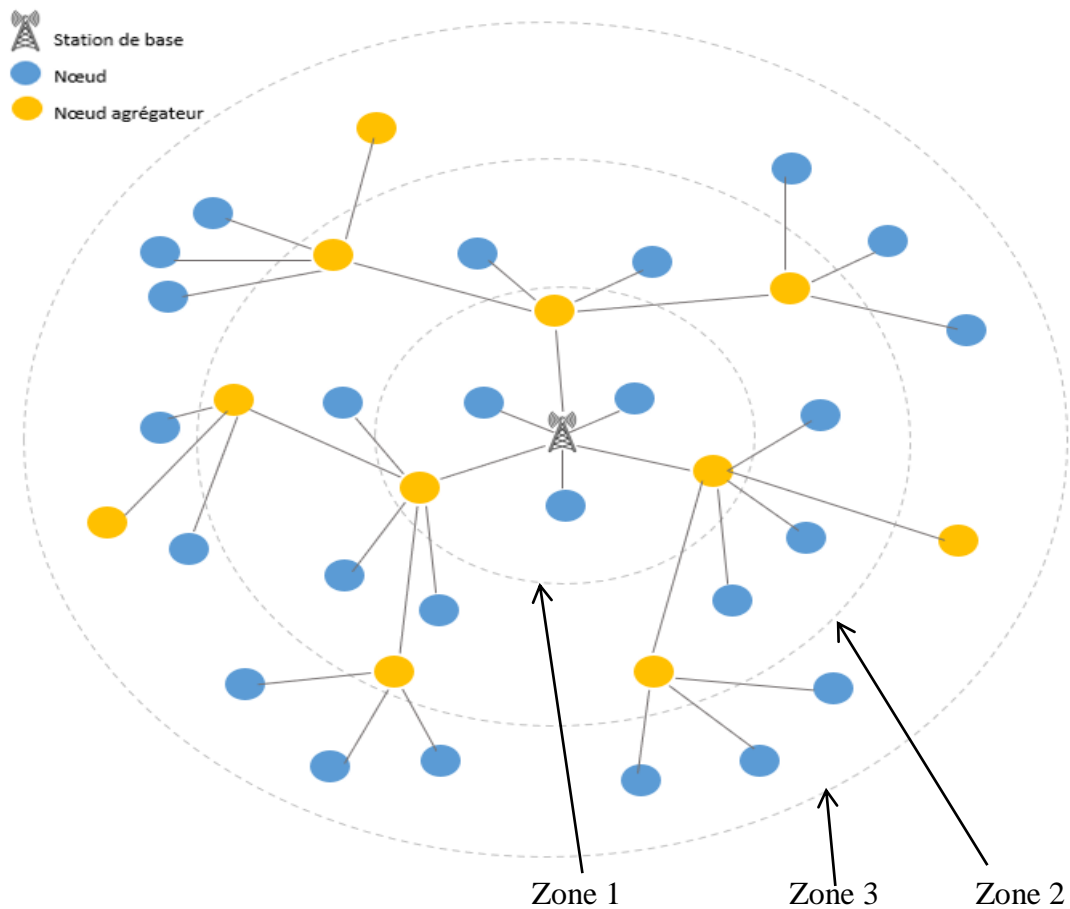
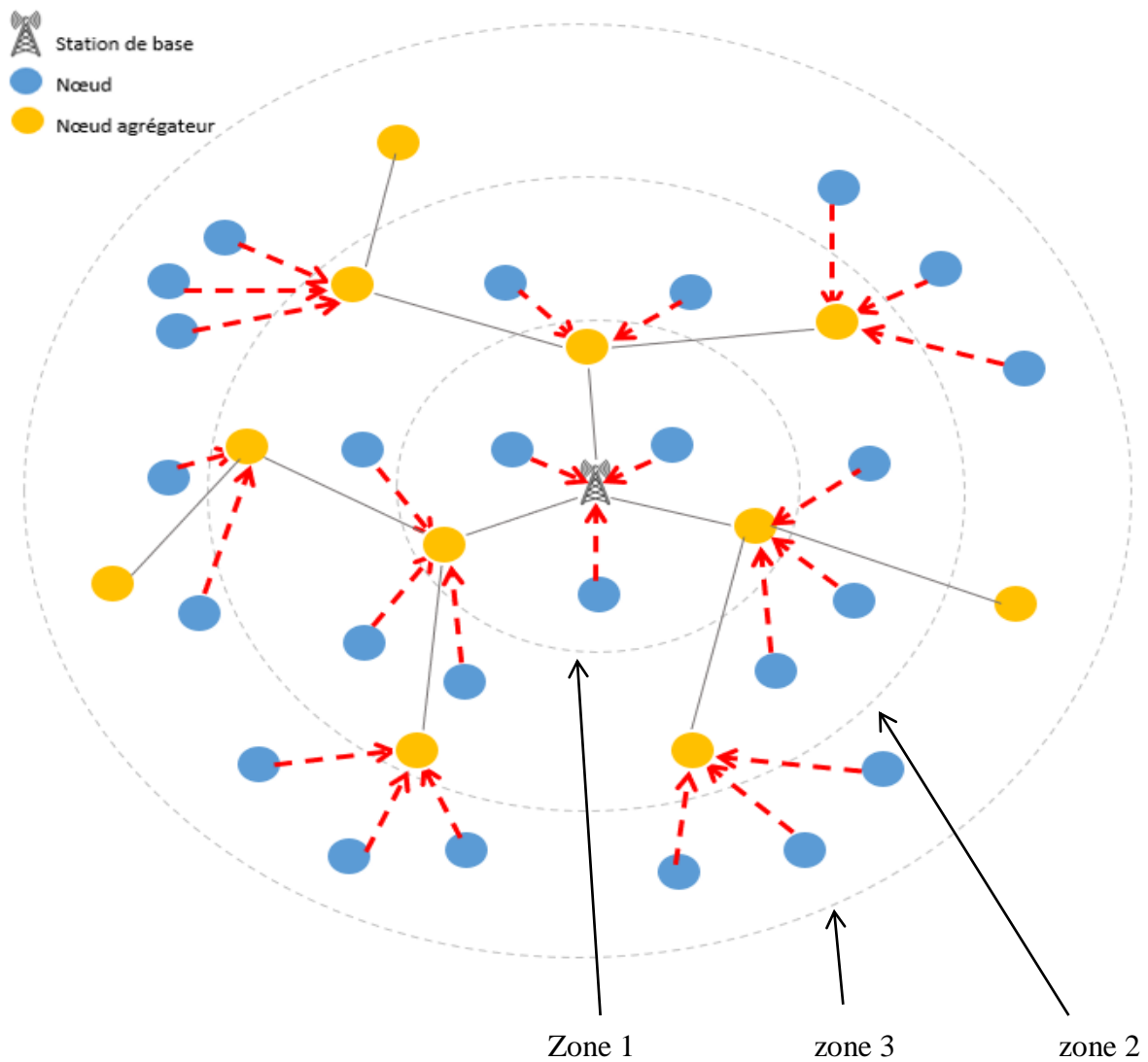


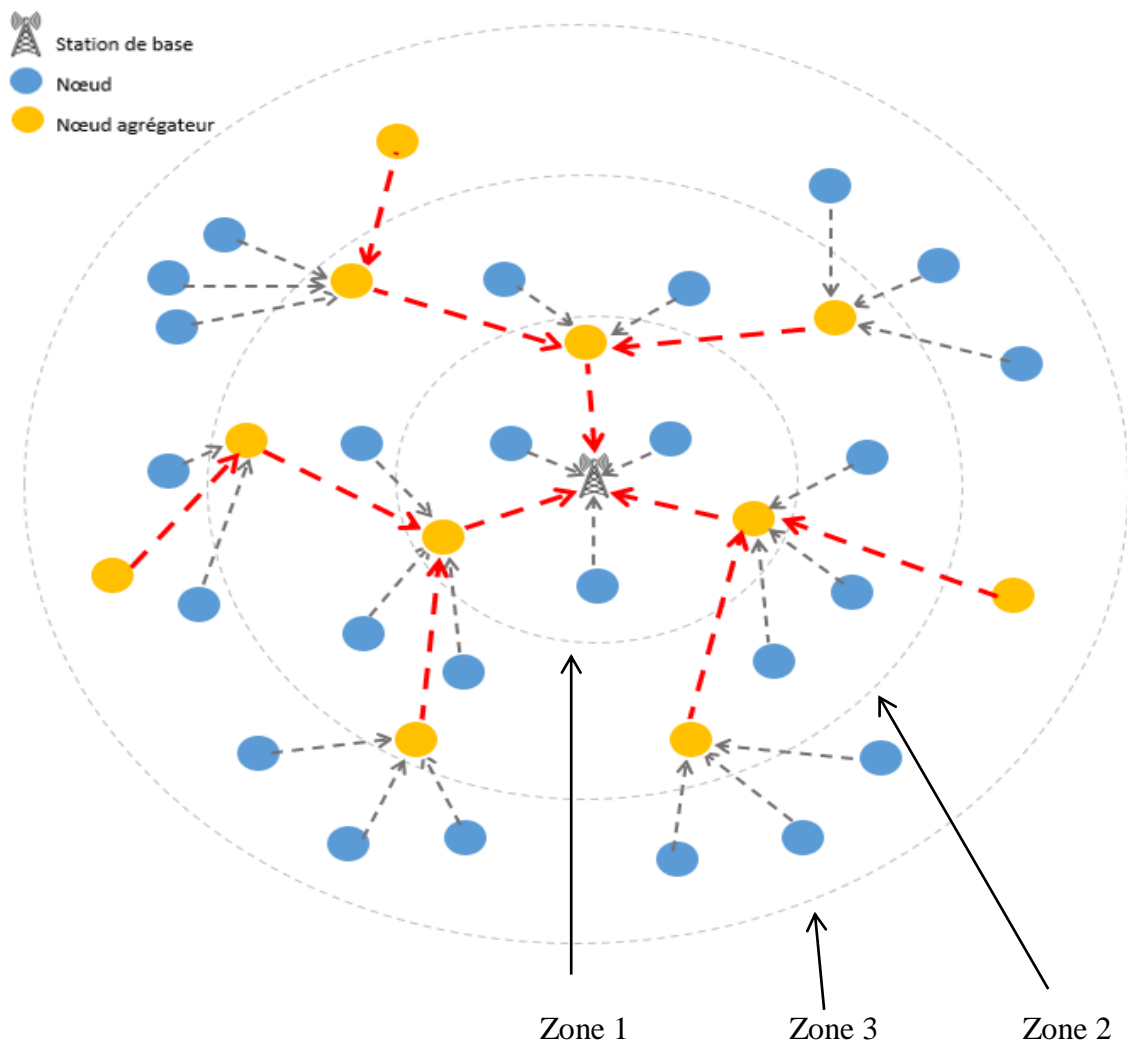
Figure 3.5 : Formation des nœuds agrégateurs

- Les nœuds qui sont dans la portée de transmission de la station de base, lui envoient directement les données sans attendre que le canal soit libre.
- Les nœuds qui sont en dehors de la portée de transmission de la station de base envoient simultanément les données aux nœuds agrégateurs.



**Figure 3.6 :** L'envoi simultané des paquets.

- Les nœuds agrégateurs qui sont en dehors de la portée de transmission de la station base reçoivent les données des nœuds voisins, effectuent leur agrégation et les envoient aux nœuds agrégateurs de la zone inférieure.
- Les nœuds agrégateurs de la zone 1 effectuent l'agrégation et envoient directement les données à la station de base.



**Figure 3.7 :** L'agrégation puis l'envoi des paquets envoyés aux AN.

### **5. Conclusion :**

On a vu dans ce 3ième chapitre l'utilisation de la méthode CDMA, comme méthode d'accès au media pour le protocole de routage à plat avec agrégation. Et cela afin d'améliorer et réduire le délai de transmission des données de bout en bout dans les réseaux des capteurs sans fil. Ce protocole fonctionne en deux étapes : la première est la désignation des nœuds agrégateurs ou les AN sont sélectionnés en fonction de la distance entre eux, et la deuxième est l'acheminement des paquets ou les nœuds utilisent la méthode CDMA pour accéder au media et pouvoir envoyer les paquets simultanément.

Dans le prochain chapitre on va mettre en pratique le protocole de routage à plat avec CDMA, et présenter les softwares et les hardwares utilisés dans notre travail.

# **Chapitre IV :**

*Implémentation*

*Et*

*Evaluation.*

## 1. Introduction :

Dans ce chapitre notre objectif majeur est de présenter notre produit final (notre application). C'est la phase de réalisation de notre système.

Nous allons présenter la phase d'implémentation de notre application, nous commencerons tout d'abord par la description de l'environnement matériel et logiciel de notre application, ensuite nous montrerons les différentes interfaces fournis par l'application. A la fin, nous exposerons en détail les données utilisées en utilisant la méthode CDMA avec le routage a plat par inondation, comme solution pour optimiser le temps de transmission des données de bout en bout.

## 2. Présentation de l'environnement du développement :

### 2.1. L'environnement matériel :

Pour réaliser cette implémentation On a utilisé une machine, configurée comme suit :

- ❖ Ordinateur : HP 250 G5 Notebook
- ❖ CPU: I7 6eme génération.
- ❖ Ram: 16Go.
- ❖ Disque dur : 256 GB.
- ❖ Carte graphique : Intel HD Graphics 520.

### 2.2. L'environnement logiciel Netbeans :

NetBeans est un environnement de développement intégré (IDE) pour Java, placé en open-source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL (Common Développment and Distribution License). En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents autres langages, comme Python, C, C++, XML et HTML. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne.

NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris (sur x86 et SPARC), Mac OSX et Open [EV1].



**Figure4.1** : Icone du NetBeans.

### 2.2.1. Caractéristiques de l'environnement de développement «NetBeans»:

- Editeur évolué et spécialisé.
- Support de ré factoring retravailler le code de manière à améliorer la lisibilité et la maintenance.
- Compilation incrémentale.
- Tests unitaires.
- Débuggeurs de code Java

### 2.3. Le langage de programmation java :

Le langage Java est un langage de programmation informatique orienté objet créé par Sun Microsystems et présenté officiellement le 23 mai 1995. Le langage Java a la particularité principale que les logiciels écrits avec ce dernier sont très facilement portables sur plusieurs systèmes d'exploitation tels qu'UNIX, Windows, Mac OS ou GNU/Linux avec peu ou pas de modifications. C'est la plate-forme qui garantit la portabilité des applications développées en Java [EV2].



Figure 4.2 : Le langage de programmation java.

#### 2.3.1. Caractéristique du langage de programmation java :

- Distribué.
- Fiable.
- Sécurisé.
- Interprété.
- Orienté objet.
- Simple.
- Portable.
- Multithread.

## 2.4. Les bibliothèques utilisées :

### 2.4.1. Javafx :

JavaFX est un Framework et une bibliothèque d'interface utilisateur issue du projet OpenJFX, qui permet aux développeurs Java de créer une interface graphique pour des applications de bureau, des applications internet riches et des applications smartphones et tablettes tactiles.

Créé à l'origine par Sun Microsystems, puis développé par Oracle après son rachat et ce, jusqu'à la version 11 du JDK, c'est depuis lors à la communauté OpenJFX que revient la poursuite de son développement.

Cette bibliothèque a été conçue pour remplacer Swing et AWT, qui ont été développés à partir de la fin des années 90, pour pallier les défauts de ces derniers et fournir de nouvelles fonctionnalités (dont le support des écrans tactiles).

Le cycle de sortie d'une nouvelle version de JavaFX correspond à celui de Java, soit tous les 6 mois [EV3].



**Figure 4.3 :** javafx.

#### 2.4.1.1. FXML :

FXML est un format de données textuelles, dérivé du format XML, qui permet de décrire une interface utilisateur pour des applications conçus avec JavaFX.

Il s'agit d'une alternative à la conception d'interfaces réalisés par l'écriture de lignes de codes, en découplant l'interface graphique du code source qui le contrôle.

Cette technologie a été intégrée dans JavaFX à partir de sa version 2.0, pour remplacer JavaFX Script.

Pour faciliter la manipulation de ce format de données, le logiciel Scene Builder a été développé par Oracle, permettant ainsi de décrire rapidement des interfaces [Ev4].

#### 2.4.1.2. Scene builder :

Scene Builder est un outil interactif de conception d'interface graphique pour JavaFX. Créé par Oracle, il permet de construire rapidement des interfaces utilisateurs sans avoir besoin de (savoir) coder.

Le logiciel est décliné en deux versions : l'une (8.x) destiné à JavaFX 8 et l'autre (9.0 et +) pour JavaFX 9 et plus.

Le logiciel s'utilise avec la technique du glisser/déposer : un panneau latéral situé à gauche de la fenêtre permet à l'utilisateur de sélectionner et positionner un composant dans la hiérarchie des composants ou sur la vue centrale affichant le rendu.

Un panneau latéral positionné à droite de la fenêtre permet quant à lui de définir les caractéristiques du composant sélectionné par l'utilisateur.

Les interfaces sont enregistrées dans des fichiers au format FXML, qui sont ensuite lus et chargés en mémoire par le programme, puis affichés à l'écran [EV5].



**Figure 4.4:** icone du Scene builder.

### 3. Configuration des paramètres de la simulation :

Les paramètres de nos simulations ont résumés dans le tableau suivant:

Paramètre	Valeur
Nombre des nœuds	20 – 68 nœuds
La taille des nœuds	20X20
La position de la station de base	620X30
Le rang de transmission	120
Le nombre de zones	3
Le nombre des nœuds agrégateurs	9

Tab 4.1:Tableau représentant les différents paramètres des Simulation.

### 4. Présentation de l'application :

On présente dans ce qui suit les interfaces de notre simulateur et ses différentes fonctionnalités.

#### 4.1. L'interface d'accueil :

L'interface d'accueil contient deux bouton « + » et « - » pour choisir le nombre de nœuds du réseau, le bouton « **Create** » pour créer le réseau, le bouton « **Start** » pour commencer la simulation et le bouton « **Clear** » pour tout effacer et réinitialiser la simulation. Elle contient aussi deux panels pour la création du réseau ainsi qu'un graphe pour afficher les résultats obtenus.

Et enfin les légendes pour mieux comprendre la signification des différentes formes créées dans le réseau (la station de base, les nœuds, les nœuds agrégateurs, les liaisons).

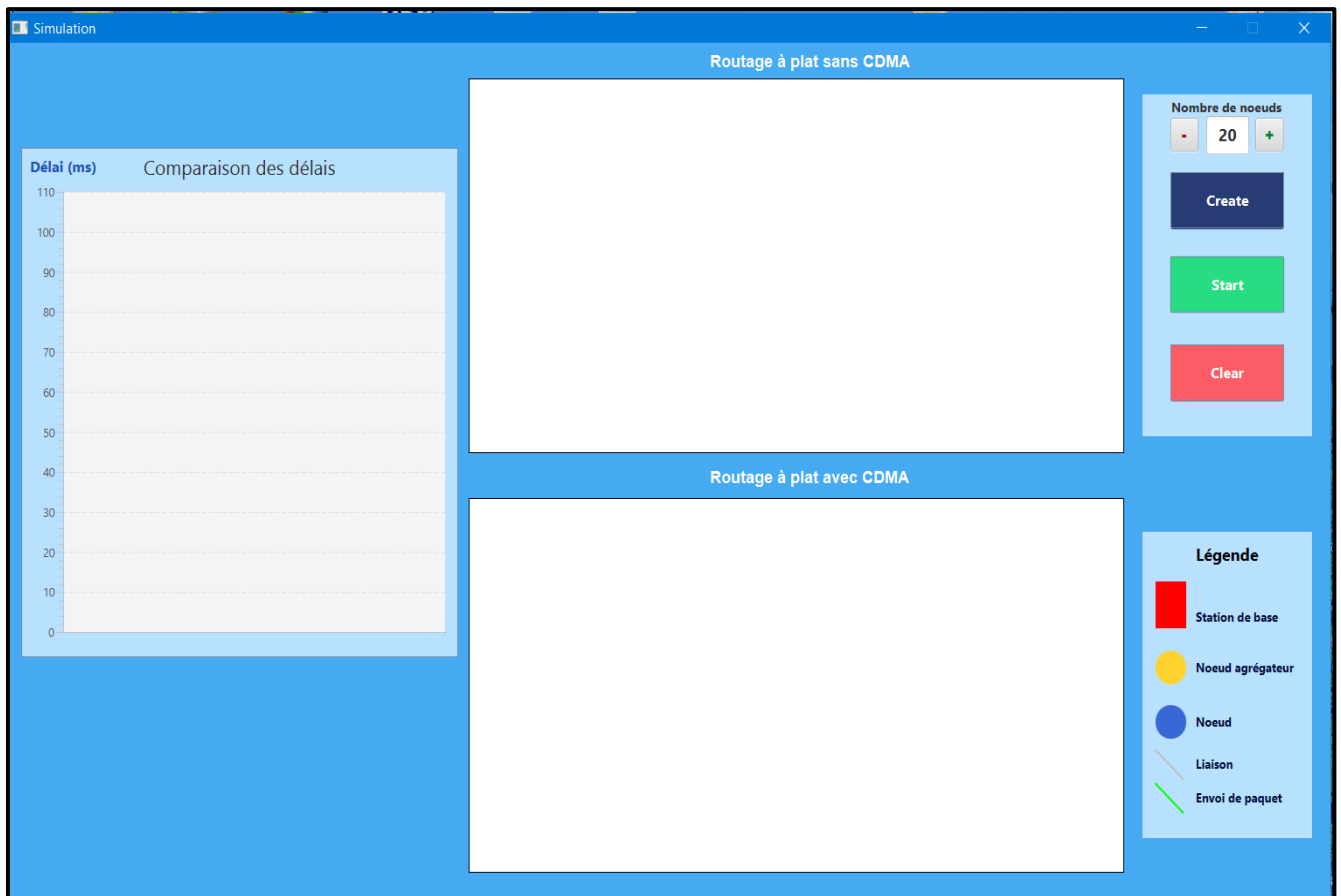


Figure 4.5: Interface d'accueil.

#### 4.2. La création du réseau :

Pour créer le réseau il faut d'abord définir le nombre de nœuds qu'on veut créer et ça en cliquant sur les 2 boutons « + » et « - ».



Figure 4.6: choisir le nombre de nœuds.

Par défaut le nombre initial est de 20 nœuds et qui est le minimum aussi. Le bouton « + » ajoute 8 nœuds à la fois et le bouton « - » retire 8 nœuds. Le nombre maximum est 68 nœuds. Ensuite on appuie sur le bouton « **Create** » pour créer le réseau dans les deux panels.

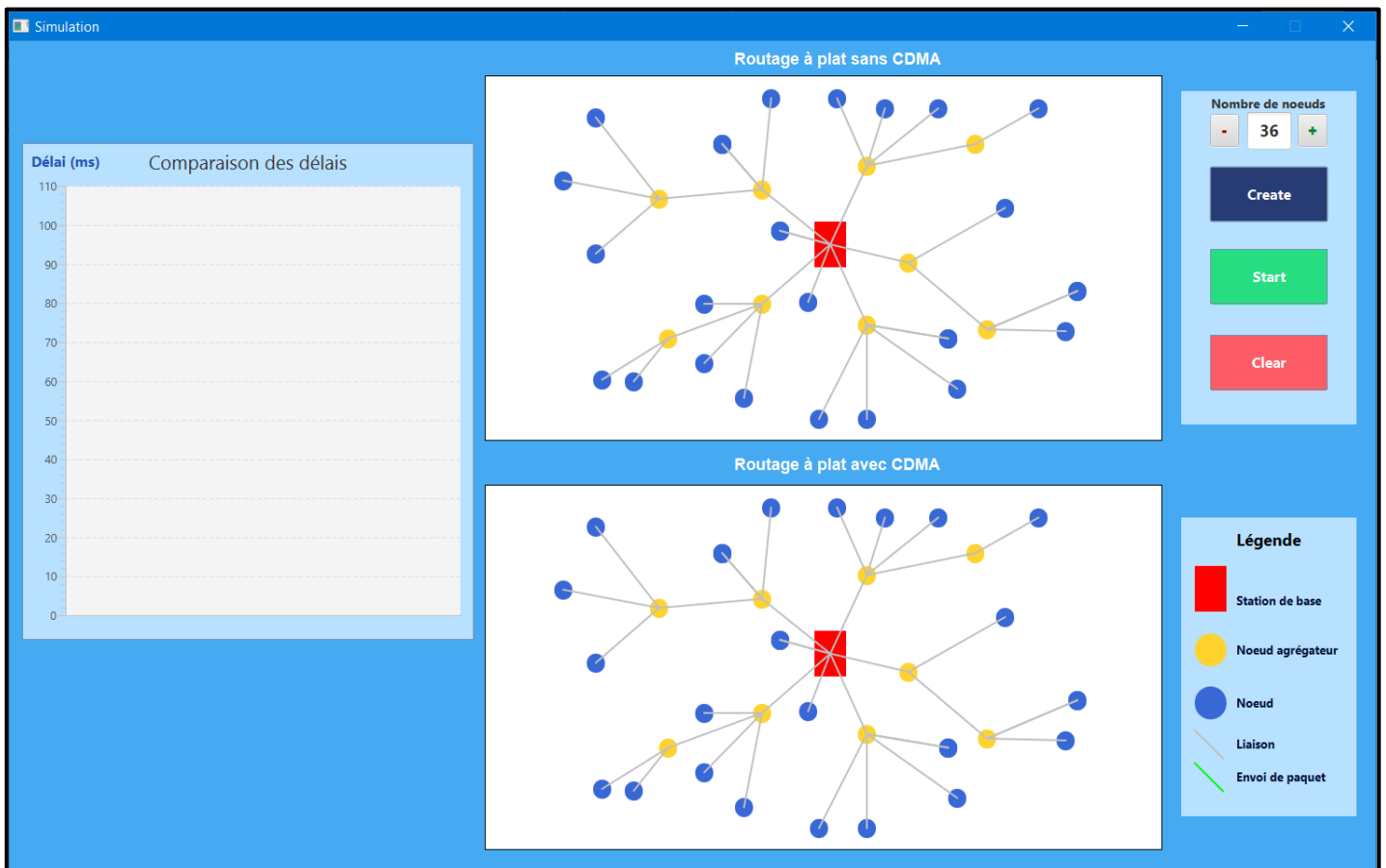


Figure 4.7 : Création du réseau avec 36 nœuds.

### 4.3. Démarrage de la simulation :

Le bouton « **Start** » démarre la simulation. La couleur des liaisons entre les nœuds se change en vert pour montrer l'envoi du paquet d'un nœud à l'autre. Le changement de couleur se fait en fonction du protocole. Dans le cas du routage à plat sans CDMA, le changement se fait séquentiellement pour les nœuds qui sont reliés au même nœud agrégateur ou à la station de base. Par contre dans le routage à plat avec CDMA le changement de couleur se fait simultanément.

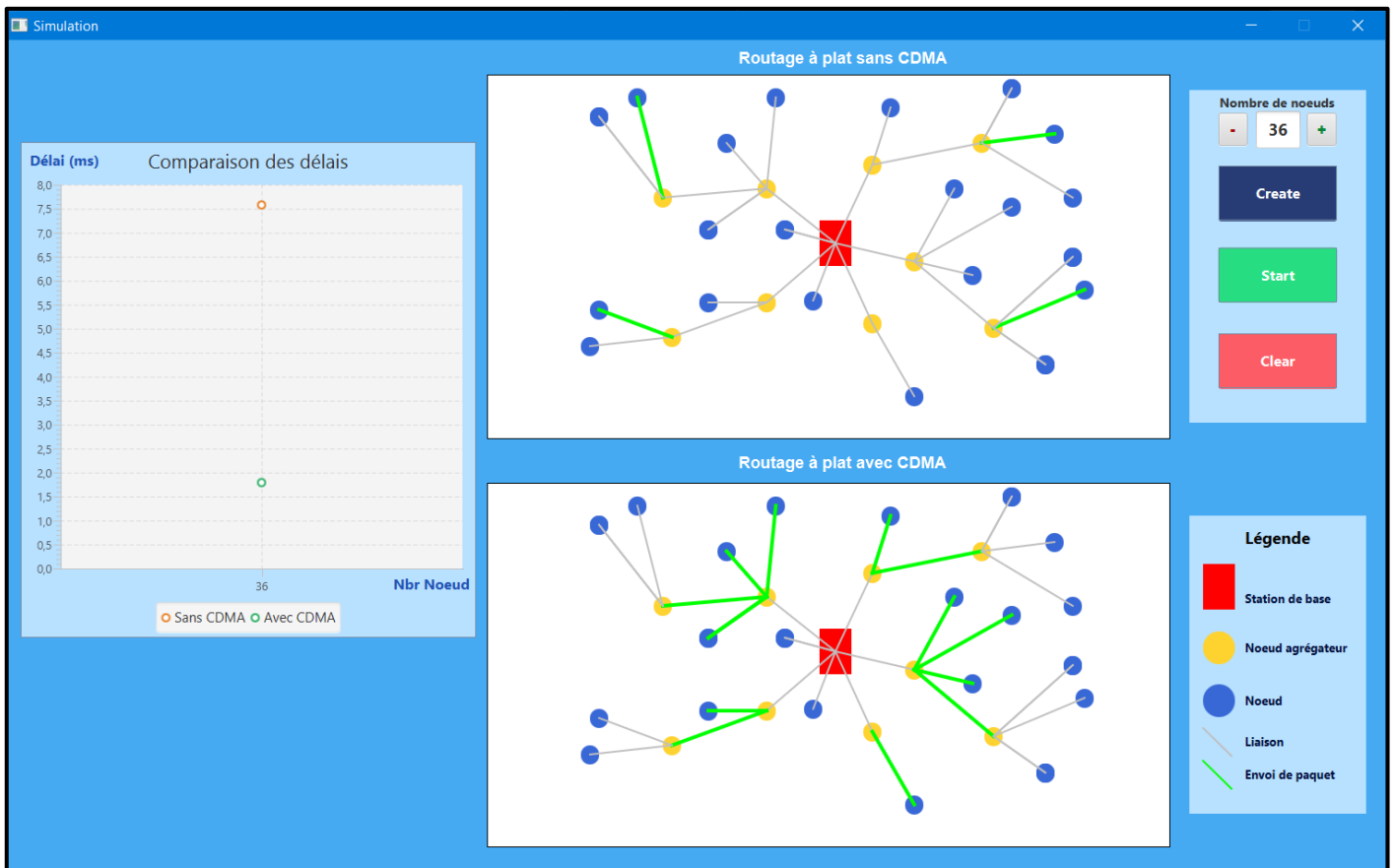


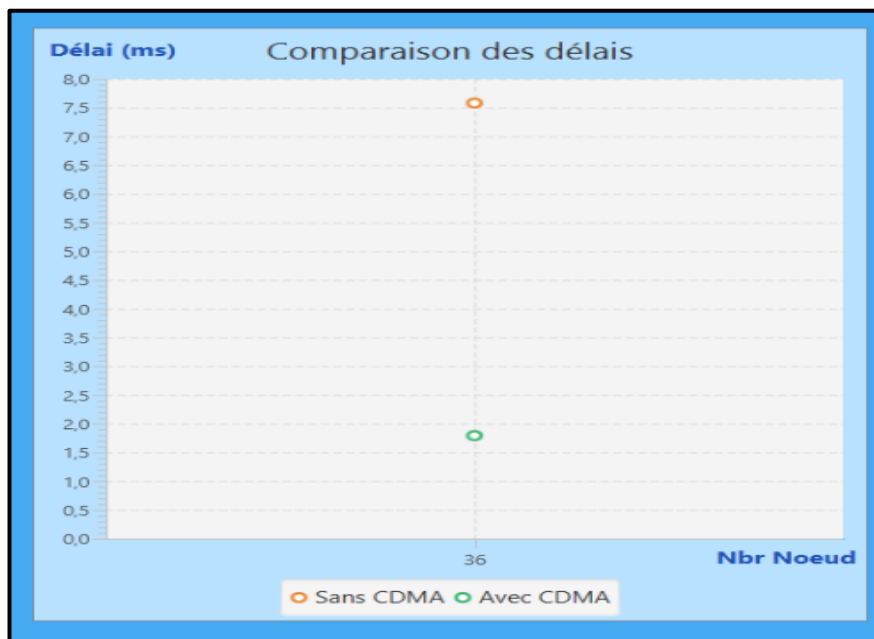
Figure 4.8 : Démarrage de la simulation avec 36 nœuds.

#### 4.4. L'affichage du résultat de la simulation :

Le résultat de la simulation est affiché dans le graphe. Il représente le délai moyen de la transmission des paquets en fonction du nombre de nœuds.

La couleur verte représente le délai de transmission du protocole à plat avec CDMA et la couleur rouge le délai du protocole à plat sans CDMA.

Dans la figure 4.9 le résultat affiché est celui de la simulation de la figure 4.8 c.-à-d. le réseau avec 36 nœuds.



**Figure 4.9 :** Résultat de la simulation avec 36 nœuds

#### 4.5. Le lancement d'une nouvelle simulation :

Pour lancer une nouvelle simulation avec un nombre de nœuds différent il suffit de changer le nombre de nœuds en rajoutant 8 nœuds au scénario précédent avec le bouton « + » et créer le réseau à nouveau le réseau avec le bouton « **Create** » et lancer la simulation avec le bouton « **Start** ». Et le résultat s'affichera dans le graphe avec le résultat précédent pour former une courbe, comme le montre la figure 4.10. On refait l'opération selon le nombre de simulation qu'on veut réaliser.

Dans la figure suivante, la simulation est réalisée avec 5 scénarios selon le nombre de nœuds : 36, 44, 52, 60 et 68 nœuds.

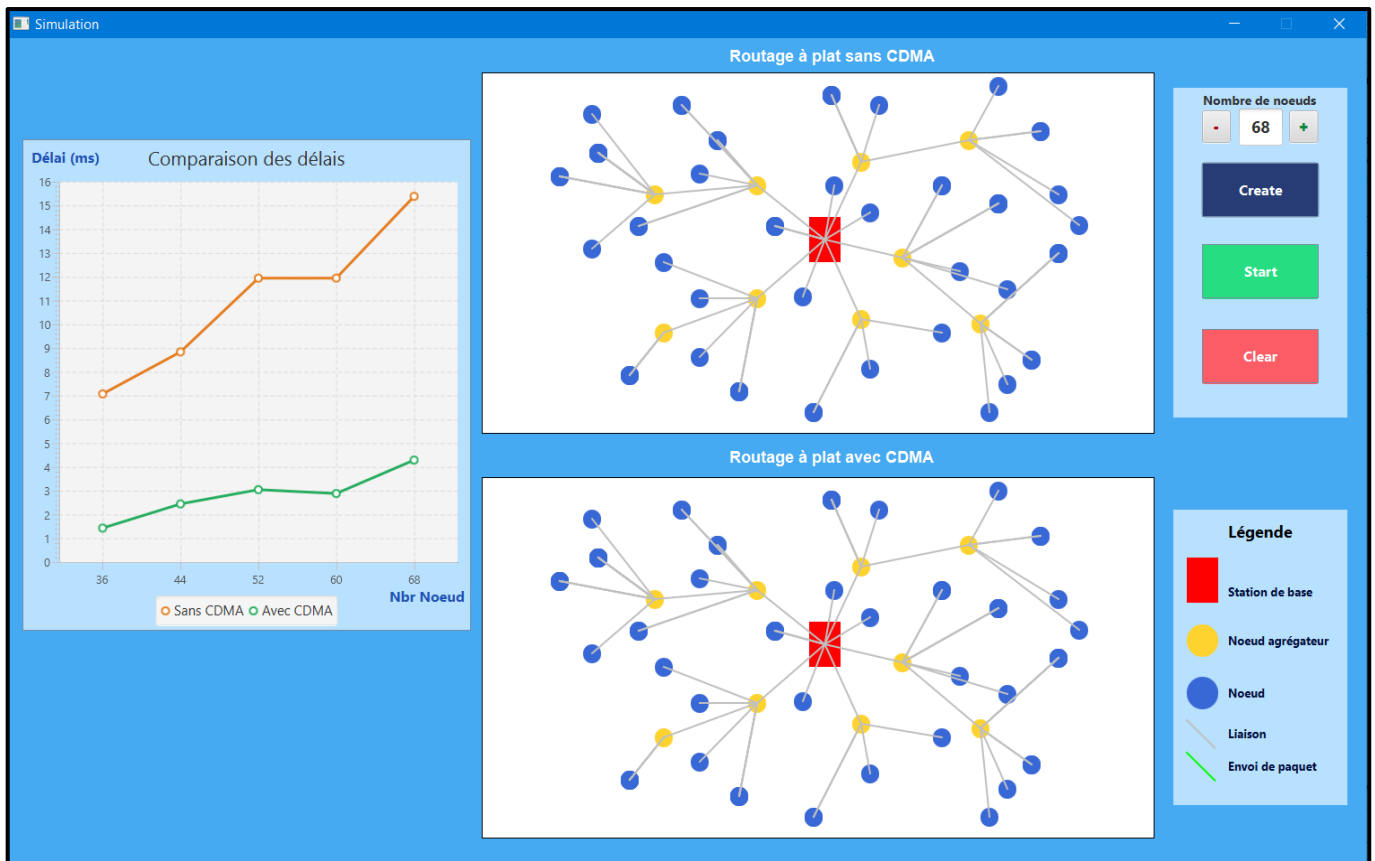


Figure 4.10 : Simulation avec 5 scénarios.

#### 4.6. La réinitialisation de la simulation :

L'application est équipée aussi d'un bouton « **Clear** » pour effacer tous les panels et le graphe pour reprendre la simulation à zéro. Comme le montre la figure 4.11

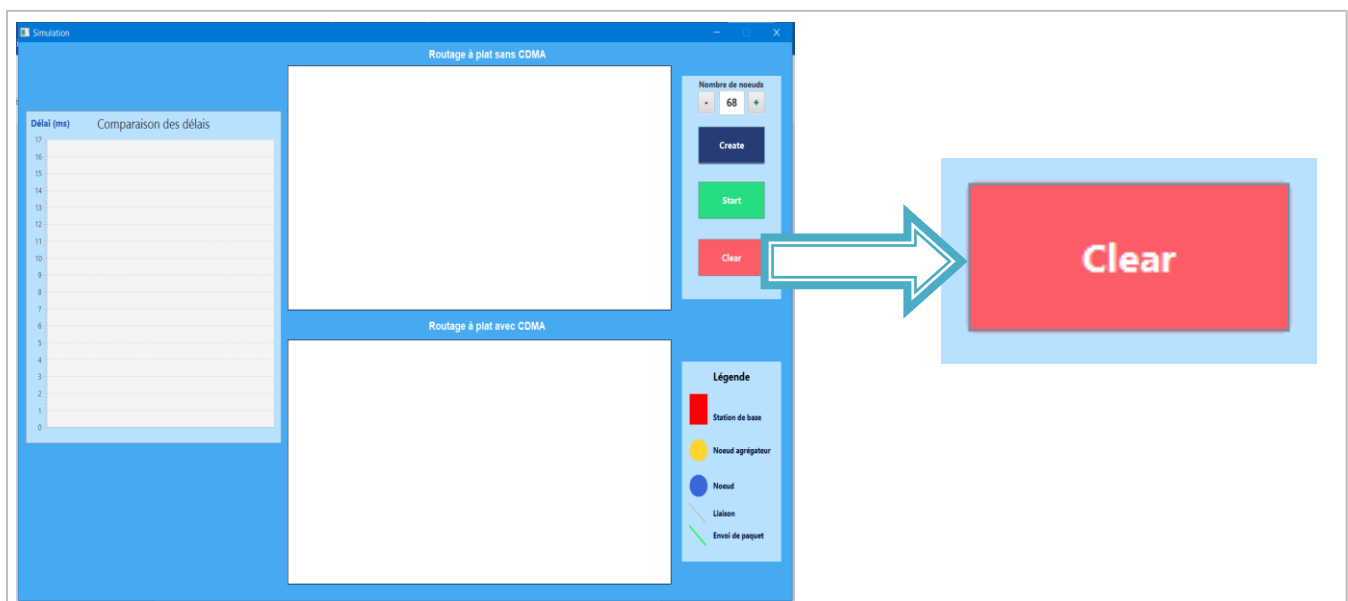


Figure 4.11 : Réinitialisation de la simulation.

## 5. Exemple de simulation et comparaison des résultats :

Dans cette partie on va faire une simulation avec plusieurs scénarios selon le nombre de nœuds : commençant avec 20 nœuds et chaque fois on rajoute 8 nœuds en affichant le résultat de chaque scénario jusqu'à l'arriver au maximum qui est 68 nœuds. Ce qui nous donne 7 scénarios en tout. Le résultat est affiché sur le graphe dans la figure suivante :

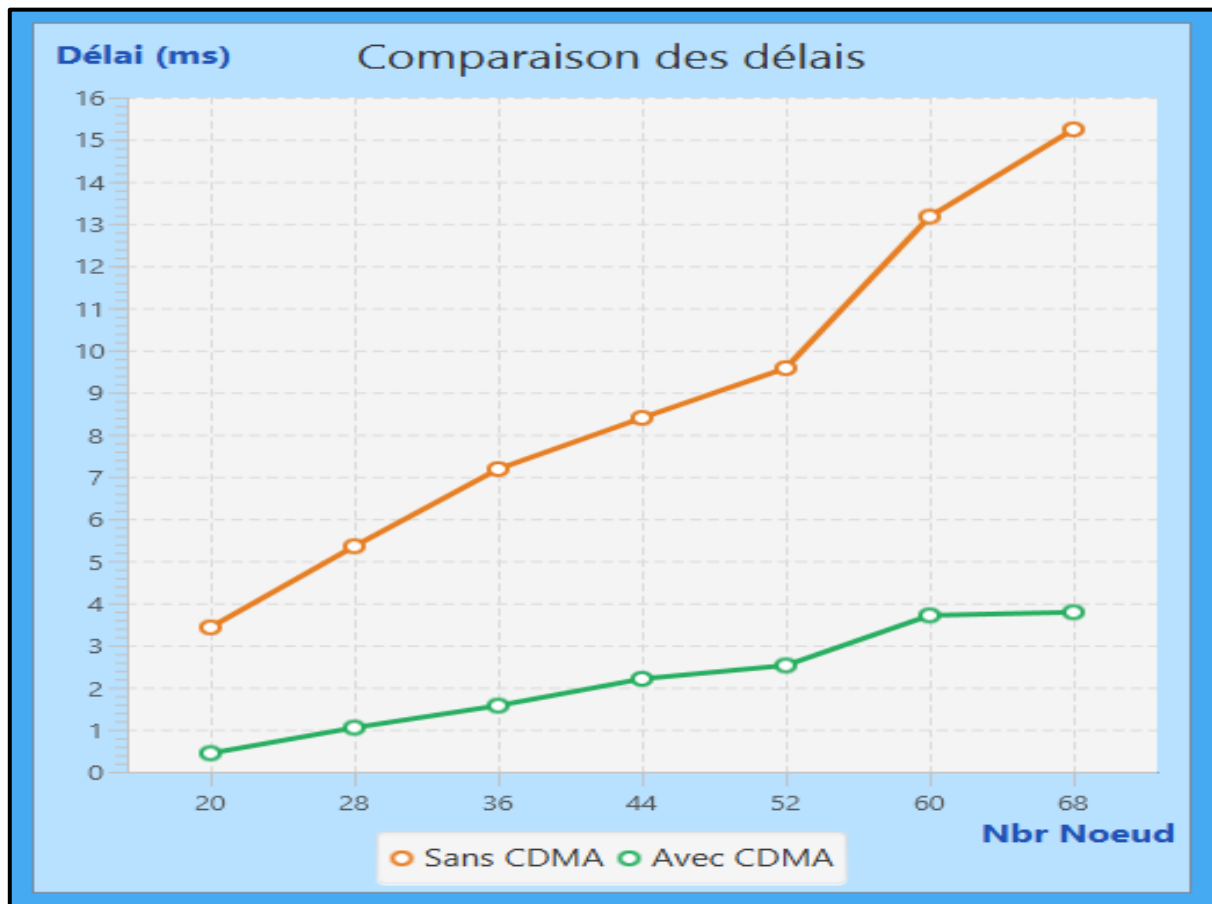


Figure 4.12 : Résultat de simulation avec 7 scénarios.

### 5.1. Comparaison des résultats :

Les résultats des routages à plat avec et sans CDMA sont tous les deux sous forme d'une courbe ascendante. Le temps de transmission et le nombre de nœuds du réseau ont une relation corrélation directe : ils augmentent conjointement.

En revanche l'augmentation de la courbe du routage sans la méthode CDMA est considérablement plus grande que le routage avec la méthode CDMA : Avec CDMA le délai passe de 0.5 ms à moins de 4 ms avec une augmentation d'environ 3.5 ms. Par contre sans la méthode CDMA le délai passe de 3.5 ms jusqu'à 15 ms avec une différence de 11.5 ms.

Cela montre l'importance de la contribution proposée dans le chapitre 3 et confirme que la méthode CDMA optimise le temps de transmission de bout en bout.

## **6. Conclusion :**

On vient de réaliser la simulation d'un protocole de routage dédié pour les réseaux des capteurs sans fil, en l'occurrence le routage à plat. Ce dernier a été implémenté en deux manières différentes : avec et sans la méthode d'accès au média CDMA. Cela nous a permis de comparer les résultats des deux méthodes, et mettre en évidence l'efficacité de la méthode CDMA pour réduire le délai de transmission de bout en bout dans les réseaux des capteurs sans fil, et enfin améliorer et optimiser le protocole de routage à plat pour mieux fonctionner dans le cadre des applications de temps réel.

La simulation a été faite via l'application que nous avons développée et présentée également dans ce chapitre en détaillant son fonctionnement avec des figures de ses interfaces.

*Conclusion  
générale.*

## Conclusion générale :

---

Notre travail dans ce mémoire, était focalisé sur le routage et ses protocoles dans les réseaux des capteurs sans fil, qui est loin d'être simple à cause des défis qui lui font face comme la mobilité des nœuds et la limite de la bande passante. Et on s'est intéressé plus précisément au protocole de routage à plat avec agrégation qui est l'un des protocoles les plus utilisés à cause de sa simplicité. En revanche l'envoi des données dans ce protocole pose problème parce qu'il se fait de façon séquentielle, chaque nœud doit attendre la libération du canal pour commencer l'envoi, et ça augmente le délai de transmission et affecte la performance des applications à temps réel.

Donc notre objectif était d'améliorer ce protocole et réduire le délai de transmission, et on a proposé de l'adapter à la méthode d'accès au media CDMA pour résoudre ce problème. Cette technique permet aux nœuds situés dans la même portée de transmission de transmettre leurs paquets de données en même temps sans conflit, grâce à un code unique pour chaque nœud (Chip Séquence). Notre protocole proposé qui est le routage à plat avec la méthode CDMA s'exécute sur deux phases : la désignation des nœuds qui effectuent l'agrégation, et l'acheminement des paquets ou les nœuds.

Dans la simulation on a implémenté le protocole de routage à plat avec la version non optimisée c.-à-d. sans CDMA, et la version optimisée qui utilise la méthode CDMA bien sûr. On a pu voir la différence dans le délai de transmission entre les deux protocoles, ainsi mettre l'accent sur l'avantage d'utiliser la méthode CDMA pour diminuer le délai de transmission de bout en bout dans les réseaux des capteurs sans fil.

Toutefois l'amélioration du délai de transmission qu'on a proposé est en fonction du nombre des nœuds du réseau, cependant ce travail pourrait être complété et poursuivi sous différents aspects. Il serait pertinent d'étendre cette étude et que d'autres étudiants puissent y participer dans les prochaines années.

# *Bibliographie*

## **Bibliographies:**

---

- **[CS01]** : K.Beydoun . « Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs »Thèse de doctorat, Spécialité : Informatique, l'u.f.r des sciences et techniques de l'université de Franche-Comté,2009.
- **[CS02]** : Md .Habibi Asma « Routage basé sur les chaines pour les réseaux de capteurs sans fil sous-marins» Mémoire de fin d'études de Master Spécialité : Réseau et Télécommunication Université Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib 2021.
- **[CS03]** : Md. Khalladi Fatima Zohra «Choix de Protocoles De Routage Hiérarchiques Dans Les Réseaux De Capteurs Sans Fil Pour Une Application Domotique» Mémoire de fin d'études de Master Spécialité : Réseau et Télécom Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent Institut de Technologie 2017.
- **[CS04]**: N. Jamal, A. Al-Karaki, E. Kamal, «Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey», Dept. of Electrical and Computer Engineering Iowa State University.
- **[CS05]** : N.Labraoui , «La sécurité dans les réseaux sans fil ad hoc», mémoire de doctorat, Spécialité: Informatique, a l'université de Tlemcen faculté des sciences, 2012.
- **[CS06]**: Muhammad R Ahmed , Xu H uang, Dharmandra SharmA, and Hongyan Cui. “Wireless Sensor Network: Characteristics and Architectures” .International Journal of Information and Communication Engineering Vol:6, No:12, 2012.
- **[CS07]**: N. Jamal, A. Al-Karaki, E. Kamal, «Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey», Dept. of Electrical and Computer Engineering Iowa State University.
- **[RT1]** : ALOUI, I., Une approche agent mobile pour les réseaux de capteurs. 2016, Université Mohamed Khider-Biskra
- **[RT2]**: NomanShabbir and Syed Rizwan Hassan « Routing protocols for WrielessSensor Networks » Published:October 4th, 2017 DOI: 10.5772/intechopen.70208 , www.intechopen.com
- **[RT3]** : Mr SAHRAOUI Belkheyr « Etude d'un protocole de routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil » Mémoire de fin d'études de Master informatiques Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen,2013.
- **[RT4]** : Dr. Boulaiche Mehdi « Le routage dans les réseaux ad hoc » Cours Master 2 RSD Université 20 Aout 1955 Skikda
- **[RT5]** : BenhamedKhelifa « Approche Théorie des Graphes pour la surveillance d'un réseau capteurs sans fil » Mémoire de Magister en informatique, Université d'Oran Es-senia 2007

## **Bibliographies:**

---

- **[RT6]:** Meriem Houmer and Moulay Lahcen Hasnaoui « An Enhancement of GreedyPerimeterStateless Routing Protocol in VANET » The 10th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks novembre 4-7 2019 Portugal.
- **[RT7] :** Yousef Yaser « Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil » These de Doctorat, Université de Haute Alsace – Mulhouse , 2010
- **[RT8] :** TAIEB BRAHIM Mohammed « Contribution aux Réseaux Sans Fil : Routage à base de l'algorithme MCL pour les Réseaux de Capteurs » These de Doctorat Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbas 2020-2021
- **[RT9] :** AMEZA Fatima, ASSAM Nassima, ATMANI Mouloud « Le routage dans les réseaux ad hoc (OLSR et AODV) » Mémoire licence Académique en informatique Université de Bejaia , 2007
- **[RT12] :** Miloud BAGGA «La sécurité de l'agrégation dans les réseaux capteurs sans fil» Mémoire de magister en informatique USTHB 2007
- **[EV1] :** <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=517>
- **[EV2]:** <http://www.java.com/fr/>

## **Les Site Webs:**

- **[CS08] :** [https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01373430/file/RR\\_securite\\_Capteurs-Implement-WassimDRIRA-2008.pdf](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01373430/file/RR_securite_Capteurs-Implement-WassimDRIRA-2008.pdf)
- **[EV3] :** <https://fr.wikipedia.org/wiki/JavaFX>
- **[EV4] :** <https://fr.wikipedia.org/wiki/FXML>
- **[EV5]:** [https://fr.wikipedia.org/wiki/Scene\\_Builder](https://fr.wikipedia.org/wiki/Scene_Builder)