

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**UNIVERSITE 20 Août 1955 -SKIKDA**

**Faculté des sciences**

**Département informatiques**



## ***Mémoire de fin d'étude***

***En vue de l'obtention du diplôme de master en informatique :***

***Option : Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D)***

## ***THÈME***

**Adaptation du protocole de routage LEACH avec la  
méthode d'accès au média CDMA**

***Réalisé par :***

- *Ben ayache achraf*
- *Bouraoui houssem*

***Dirigé par :***

- *Boulaiche mehdi*

**Promo : 2021/2022**

## **REMERCIEMENTS**

*Au terme de ce travail nous tenons tout d'abord à remercier, Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.*

*En second lieu nous tenons à remercier vivement Monsieur **Boulaiche mehdi** pour nous avoir fait l'honneur d'accepter, de diriger ce travail et le soutenir. Pour votre encadrement, votre enseignement, et vos précieux conseil, pour les connaissances que vous nous avez apportées. Veuillez croire en notre profond respect.*

*Nos vifs remerciements vont également au membre du jury pour l'intérêt qu'il ont porté à notre recherche on acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions*

*Enfin nous tenant à exprimer nos sincère remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné, et tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

## **DÉDICACE**

*Je dédie ce travail :*

*A mes chers parents*

*A tous mes amis.*

# **TABLE DES MATIÈRES**

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale

## **CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉ SUR LES RÉSEAUX CAPTEUR SANS FILS**

1. introduction.....	10
2. Capteurs sans fils.....	10
2.1 Définition.....	10
2.2 Architecture de capteur sans fils.....	11
2.3 Caractéristique des capteurs.....	12
2.4 Exemples des types de capteurs.....	12
2.5 La mise en réseaux.....	13
3. Réseaux des capteurs sans fils.....	13
4. Architecture d'un réseau de capteurs sans fils.....	14
5. Comparaison entre un RcSFs et un réseau Ad Hoc.....	15
6. Caractéristiques des RCSFs.....	16
7. Contraintes de conception d'un RcSFs.....	17
8. Les limites des RCSFs.....	18
9. Domaines d'application.....	19
10. Classification des RCSFs.....	20
11. Collection des informations dans un RCSF :.....	21
12. Les architectures de communication dans les RcSF.....	23
13. Sécurité dans les RCSF.....	24
14. Pile protocolaire.....	26
15. Conclusion.....	28

## **CHAPITRE 02 : LES MÉTHODES D'ACCÈS AU MÉDIA ET LES PROTOCOLES DES ROUTAGES DANS LES RCSFS**

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

1. Introduction :.....	29
2. Les Méthodes d'accès au média :.....	29

3. Classification des méthodes d'accès au média .....	29
3.1 Les Méthodes accès par réservation (statique) : .....	30
3.1.1 Méthode TDMA (Time division multiple Access) : .....	30
3.1.2 Méthode FDMA (Frequency division multiple Access) : .....	30
3.1.3 Méthode CDMA (Code division multiple Access) : .....	31
3.1.3.1 <i>Le principe de méthode CDMA</i> .....	32
3.1.3.2 Exemple au CDMA .....	32
3.2.1.2 Les avantages et les inconvénients de CDMA .....	33
3.2 Les Méthodes accès par contention (dynamique) .....	33
3.2.1 Méthode CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) : .....	33
3.2.1.1 Principe de fonctionnement de CSMA/CA .....	35
3.2.1.2 Les avantages et les inconvénients de CSMA/CA .....	36

## **Partie 2 : les Protocoles de routage dans les RCSFs**

1. Routage : .....	38
2. Les stratégies de routages des données dans les RCSF .....	38
3. classification des protocoles de routage dans les RCSFs .....	39
3.1 La structure de réseau (topologie) .....	40
3.1.1 Les protocoles de routage a plat .....	40
Protocole SPIN .....	41
Protocole directed diffusion (DD) .....	41
protocole RUMOUR ROUTING .....	41
3.1.2 Les peotocoles de routage hiérarchique .....	41
Protocole LEACH .....	42
Protocole PAGASIS et hierarchical PEGASIS .....	42
Protocole TEEN et APTEEN .....	43
3.1.2.1 Caractéristique d'un protocole hiérarchique .....	43
3.1.3 Les protocoles de routage avec localisation géographique .....	45
Protocole GEAR .....	45
3.2 Selon le type de protocole : .....	46
3.2.1 Protocole de routage basé sur la qualité de service .....	46
3.2.2 Protocole de routage basé sur la négociation des données : .....	46
3.2.3 Protocoles de routage multi-chemins : .....	46
3.2.4 Protocole de routage basé sur les interrogations : .....	47
4. Critères de performance des protocoles de routage .....	48
5. Les limites des protocoles de routage dans les RCSF .....	49

6. Conclusion .....	50
---------------------	----

### **CHAPITRE 03 : CONCEPTION**

1. Introduction.....	51
2. Modèle du réseau.....	51
3. Description globale du protocoleLEACH.....	52
3.1 Principaux composants d'une architecture en cluster .....	52
3.1.1 Cluster .....	52
3.1.2 cluster heads .....	52
3.2 Avantage et incinvinement de LEACH.....	53
4. Fonctionnement de protocole.....	54
4.1 Phase de formation des clusters.....	55
4.2 Phase d'acheminement des paquet .....	55
5. Exemple LEACH avec CDMA .....	57
6. Conclusion .....	60

### **CHAPITRE 04 : SIMULATION**

1. Introduction.....	61
2. Les choix techniques.....	61
3. Description des outils utilisés.....	61
3.1 Langage java.....	61
3.1.1 Caractéristique de langage java .....	62
4. Environnement de développement .....	63
4.1 Eclipse IDE .....	63
4.1.1 Caractéristique d'envirenement de développement .....	63
5. Configuration des paramètres de simulation.....	63
6. Présentation les interfaces de notre application .....	64
6.1 interfaces d'accueil .....	64
6.1.1 Le choix de nombre de noeud .....	65
6.2 Création le réseau .....	65
6.3 Election des cluster head .....	66
6.4 Création des clusters.....	67
6.5Transmission des données.....	68
6.5.1 Leach avec TDMA .....	68
6.5.2 Leach avec CDMA .....	69
6.6 Graphe de délai .....	70

6.6.1 Délai avec TDMA.....	70
6.6..2 Délai avec CDMA.....	70
7. Conclusion .....	71

## **Conclusion générale**

## **Bibliographie et web graphie**

## **LISTE DE FIGURE**

### **CHAPITRE 1**

Figure 1.1 Capteur sans fils .....	10
Figure 1.2 architecture de capteur sans fil.....	11
Figure 1.3 schéma représentant quelque type de capteurs .....	12
Figure 1.4 schématisation d'un réseau de capteur sans fil .....	13
Figure 1.5 architecture d'un réseau de capteur sans fil.....	14
Figure 1.6 méthode a la demande de collection des informations dans un RCSF .....	22
Figure 1.7 méthode de collection suit a un événement des informations dans un RCSF .....	22
Figure 1.8 communication multi-sauts dans un réseau de capteur sans fil .....	24
Figure 1.9 pile protocolaire dan les réseaux de capteur sans fils .....	27

### **CHAPITRE 2**

Figure 2.1 accès aux TDMA .....	30
Figure 2.1 accès aux FDMA .....	31
Figure 2.1 accès aux CDMA .....	31
Figure 2.4 accès aux CSMA/CS .....	34
Figure 2.5 CSMA/CA basique .....	35
Figure 2.6 CSMA/CA – RTS/CTS.....	36
Figure 3.1 protocoles de routage pour les RCSF selon la structure du réseau .....	40
Figure 3.2 routage a plat .....	40
Figure 3.3 routage hiérarchique .....	42
Figure 3.4 routage avec localisation géographique .....	45
Figure 3.5 protocoles de routage pour les RCSF selon le type de protocole .....	46

### **CHAPITRE 3**

Figure 4.1 les composants d'une architecture en cluster .....	52
Figure 4.2 cycle de transmission de notre protocole.....	56
Figure 4.3 élection du cluster Head.....	57
Figure 4.4 création des clusters.....	58
Figure 4.5 transmission les données.....	59

## **CHAPITRE 4**

Figure 5.1 logo de java.....	61
Figure 5.2 logo d'eclipse .....	63
Figure 5.3 interface d'accueil.....	64
Figure 5.4 interface de création le réseau .....	65
Figure 5.5 interface d'élection les clusters Head.....	66
Figure 5.6 interface des créations cluster .....	67
Figure 5.7 interface de transmission des données vers CH.....	68
Figure 5.8 interface de transmission des données vers station SB.....	68
Figure 5.9 interface de transmission des données vers CH.....	69
Figure 6.1 interface de transmission des données vers station SB.....	69
Figure 6.2 le délai avec TDMA .....	70
Figure 6.3 le délai avec CDMA .....	70

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **CHAPITRE 1 :**

Tableau 1.1 comparaison entre un RCSF et un réseau ad hoc.....	16
--	----

### **CHAPITRE 2 :**

Tableau 2.1 : les avantages et l'inconvénient de CSMA/CA.....	37
Tableau 2.1 : les principaux protocoles de routage dans les RCSF .....	48

### **CHAPITRE 4 :**

Tableau 3.1 : les différents paramètres de simulation.....	63
--	----

## Résumé

Un réseau de capteur sans fils RCSF est un réseau ad hoc avec un grand nombre de nœuds capteurs capables de surveiller un évènement et de transmettre les données récoltées vers une station de base de façon autonome pour le traitement et l'intervention si nécessaire.

Le routage dans les réseaux sans fils est une opération essentielle. Le routage dans ces réseaux est une tâche coopérative entre tous les nœuds pour construire une infrastructure permettant de ramener les données à partir des nœuds sources jusqu'à la station de base.

L'une des problématiques major du routage dans ces réseaux est l'optimisation des délais de transmission des paquets entre les nœuds capteurs sources et la station de base. Comme solution à cette problématique, nous proposons dans ce projet de fin d'étude la combinaison de protocole de routage LEACH avec la méthode d'accès au média CDMA afin de minimiser ce délai de transmission. En effet avec la méthode d'accès TDMA, les transmissions dans chaque cluster s'effectuent de façon séquentielle c,a,d, chaque nœud a son intervalle de temps pour envoyer ses paquets, ce qui augmente les délais de transmission de bout en bout. Cette augmentation est causée par le fait que chaque nœud doit attendre la libération du support de transmission pour pouvoir envoyer ses données.

L'idée principale de la solution proposée dans ce mémoire consiste à permettre aux différents nœuds qui sont dans le même cluster de transmettre en parallèle sans que leurs transmissions ne s'interfèrent en exploitant la méthode d'accès CDMA. En effet, avec la méthode d'accès au média CDMA, tous les nœuds peuvent transmettre leurs paquets en parallèle. Cette transmission parallèle permet de minimiser le délai de transmission global.

Les expérimentations que nous avons effectuées via la simulation nous ont permis de constater qu'avec la solution proposée le délai de transmission a été amélioré.

**Mots clés:** RCSF, LEACH, CDMA, TDMA, routage, délai.

***INTRODUCTION***  
***GÉNÉRALE***

## **Introduction générale**

Durant 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 sans fil est un réseau ad hoc avec un grand nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données vers une station de base d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée. Ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une zone géographique, appelée « champ de captage » correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté.

Malgré les progrès et les évolutions technologiques, ce type de réseau rencontre de nombreux problèmes avec les protocoles de routage, et l'un des principaux problèmes de routage dans ces réseaux est l'amélioration du temps d'envoi des paquets entre les nœuds capteurs sources et la station de base.

L'objectif de notre travail est de proposer une nouvelle approche de routage basée sur le protocole LEACH pour assurer la livraison des données à la station de base. L'idée principale de la solution proposée est de permettre aux différents nœuds d'un même groupe de transmettre en parallèle sans chevaucher leurs transmissions en exploitant la méthode d'accès CDMA, ce qui conduit à améliorer le temps de transmission.

## **Organisation du mémoire**

Pour mener à bien notre travail, nous avons organisé ce mémoire en quatre (4) chapitres selon le plan méthodologique suivant :

**Chapitre 01 :** Dans ce chapitre nous allons présenter des généralités sur les réseaux de capteurs sans fil. Tout d'abord nous allons commencer par la présentation d'un capteur sans fil. Ensuite nous allons aborder la définition, l'architecture, les contraintes, les domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil (RCSF).

**Chapitre 02 :** Ce chapitre est composé de deux parties : les méthodes d'accès au média et les protocoles de routage dans les RCSF. Nous allons commencer par les méthodes d'accès au média ; définition et classification des méthodes d'accès au média. Ensuite nous aborderons les protocoles de routage, dans ce chapitre 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.

**Chapitre 03 :** Ce chapitre est consacré à la description détaillée de notre solution proposée LEACH avec la méthode d'accès au CDMA, tout en présentant son principe de fonctionnement, les avantages qu'on puisse obtenir avec cette solution.

**Chapitre 04 :** Dans ce chapitre, nous allons présenter tout d'abord la plateforme de simulation pour évaluer les performances de la solution proposée ainsi que les différentes étapes de son implémentation. Ensuite, nous présenterons les résultats de simulation en les comparant avec le protocole de routage LEACH utilisé avec la technique TDMA.

**CHAPITRE I :**  
**GÉNÉRALITÉS SUR**  
**LES RÉSEAUX DES**  
**CAPTEURS SANS**  
**FILS**

## 1. introduction

Les progrès réalisés dans les domaines des technologies de communications sans fil et de la microélectronique permettent de produire à un coût raisonnable des petits composants appelés micro-capteurs capables de collecter, de stocker, de traiter et d'effectuer une transmission sans fil des données collectées vers une station de base. Cette évolution a engendrée l'apparition d'un nouveau type de réseaux sans fil appelés réseaux de capteurs sans fil.

Les réseaux de capteurs sans fil sont des réseaux de nœuds sans fil agissant comme des générateurs et des relais à des données en contrôlant un phénomène physique. Ils sont considérés comme un type particulier des réseaux ad-hoc, dans lesquels les nœuds sont des capteurs intelligents. Ces réseaux occupent de plus en plus de champs d'applications dans la vie .

Les RCSFs sont une nouvelle technologie qui a surgi après les grands progrès technologiques concernant le développement des capteurs intelligents. il s'agit de l'une des dix nouvelles technologies qui vont influencer sur notre manière de vivre et de travailler.

L'objectif de ce chapitre nous allons présenter généralité sur les réseaux de capteurs sans fil.

## 2. Capteurs sans fils

**2.1 Définition :** Les capteurs sont des objets de taille réduite avec des ressources très limitées, qui sont autonomes et sont capables de traiter les informations de l'environnement qui les entoure et de les transmettre à d'autres dispositifs grâce aux ondes radios sur une distance limitée a quelque mètre [1].

Un "capteur" d'un réseau de capteurs :

- ❖ Capte toujours
- ❖ Petit / Grand nombre
- ❖ Limité en énergie
- ❖ Capable de calculer
- ❖ Communicant

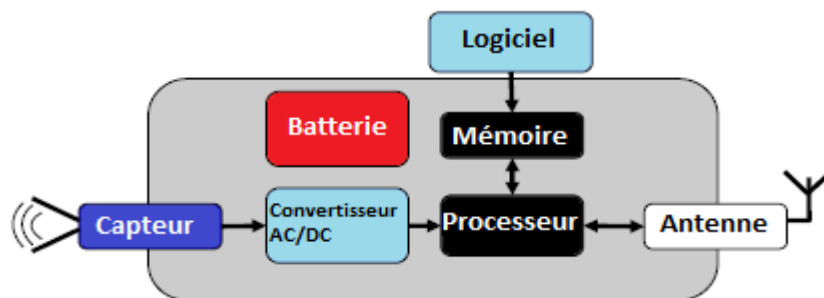


*Figure 1.1 : Capteur sans fils*

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

## 2.2 Architecture de capteur sans fils

L'architecture comprend quatre éléments de base pour le fonctionnement du capteur : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie. ils peuvent contenir également des composants supplémentaires tels qu'un Système de localisation pour déterminer leurs positions (par exemple GPS) ou bien un Système générateur. On peut même trouver un système mobilisateur pour changer leurs emplacements ou leurs configurations, et ainsi de suite [2].



*Figure 1.2 : architecture de capteur sans fil*

❖ **Unité de captage** : Elle est composée de deux sous-unités : l'unité de capture permettant l'acquisition de l'information concernant la grandeur physique et un convertisseur analogique/numérique appelé ADC (Analogie to Digital Convertir). Le capteur est responsable de fournir des signaux analogiques. Et l'ADC transforme ces signaux en signaux numériques compréhensibles par l'unité de traitement [3].

❖ **Unité de traitement** : Elle est composée d'un microprocesseur ou d'un microcontrôleur associé généralement à une unité de stockage. Elle est chargée d'exécuter les protocoles de Communication, comme elle peut aussi effectuer des semi traitements sur les données captées [3].

❖ **Unité de communication** : Elle est responsable des émissions et réceptions des données sur un medium sans fil. Elle se base sur les technologies sans fil à faible portée de communication Bluetooth ou Wifi [3].

❖ **Unité d'énergie** : Elle est responsable de la gestion de l'énergie et de l'alimentation de tous les composants du capteur. Elle consiste, généralement, en une batterie qui est limitée et irremplaçable, ce qui a rendu l'énergie comme étant la principale contrainte pour un capteur [3].

### 2.3 Caractéristique des capteurs

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.

### 2.4 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.

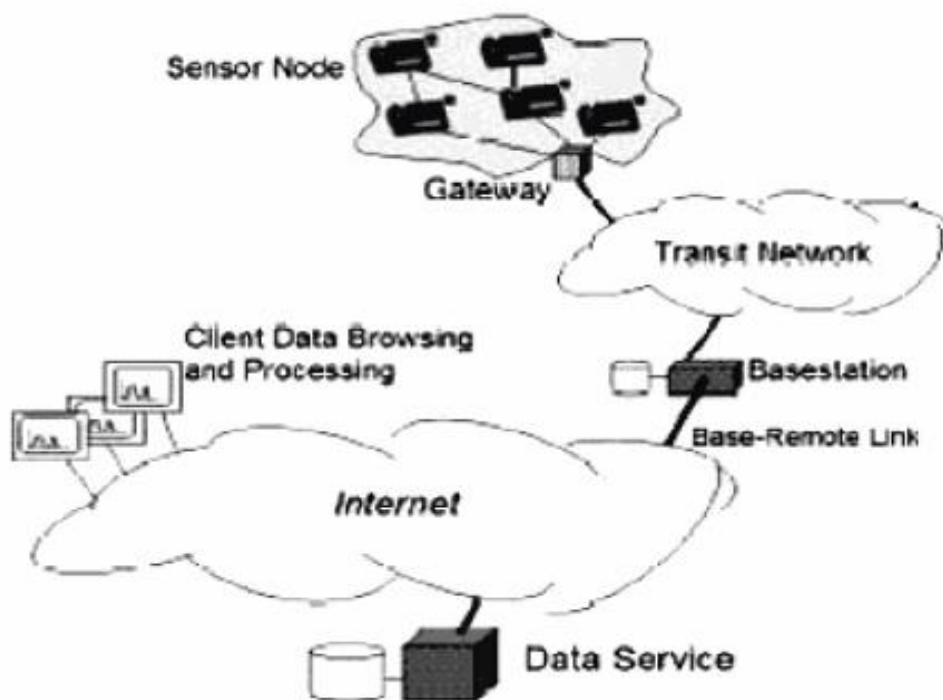


*Figure 1.3: Schéma représentant quelques types de capteurs*

## 2.5 La mise en réseaux

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 [4 ]*

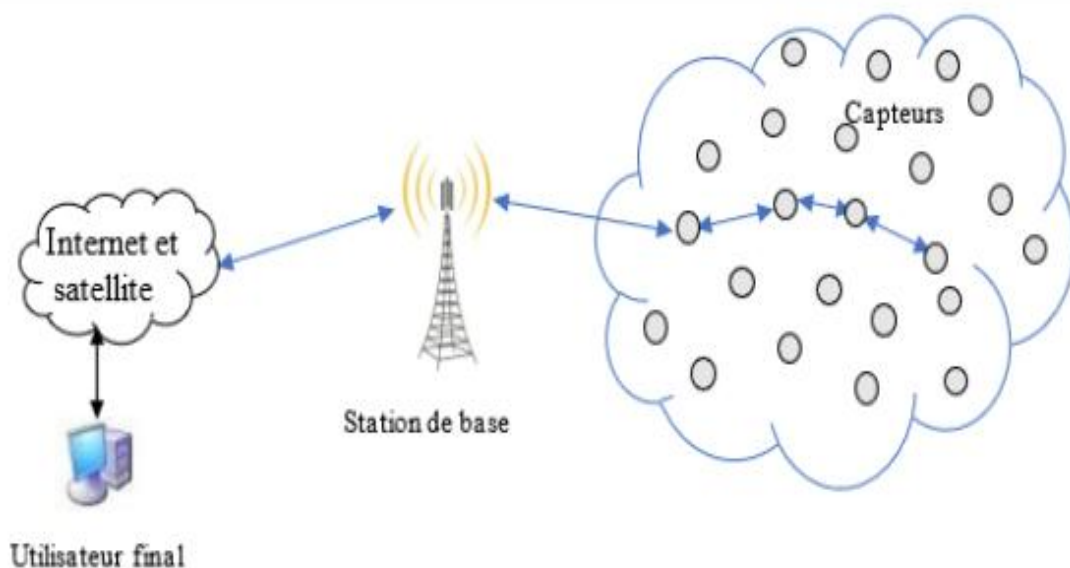
## 3. Réseaux des capteurs sans fils

Réseaux de capteurs sans fil ou WSN (Wireless Sensor Networks) : Un nouveau paradigme informatique fondé sur les efforts collaboratifs d'un ensemble très large de capteurs s'auto organisant. Un réseau de capteurs sans fil est un réseau ad hoc avec un grand

nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée. Ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une zone géographique, appelée « champ de captage » correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté.

#### 4. Architecture d'un réseau de capteurs sans fils

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 1.5 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fils*

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 [5.6]. 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.

## 5. Comparaison entre un RcSFs et un réseau Ad Hoc

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 :

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.

Les points de divergences sont également multiples [7] :

- \* Le nombre de nœuds formant un RcSF est beaucoup plus supérieur au nombre de nœuds formant un réseau Ad Hoc.
- \* 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.

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

*Table 1.1 : Comparaison entre un RcSF et un réseau Ad Hoc.*

## 6. Caractéristiques des RCSFs

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.

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

❖ **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.

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

❖ **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 hétérogènes défavorables (sachant que le rechargement des batteries est très onéreux et donc très peu rentable d'un point de vue économique).

❖ **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.

## **7. Contraintes de conception d'un RcSFs**

### **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.

### **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.

### 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.

### 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.

### 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.

### 8. Les limites des RCSFs

La localisation dans les réseaux de capteurs comporte certaines limites et ce causés par l'absence de dispositif d'auto positionnement. Les contraintes de conception étant nombreuses nous citerons les principales telles que reprisent par les grandes théories :

- Assurer une continuité du réseau sans disfonctionnement.
- Une mémoire capable de stoker toutes les informations reçues.
- Maitrise des couts de production.
- Surmonter les défaillances liées à l'environnement.

- Un déploiement topologique grâce à une maintenance assidue.
- Cornement du facteur matériel tel que la taille des capteurs le gain d'énergie, l'adaptation Aux milieux et sa résistance.
- Mise en place d'une norme de transmission telle que l'infrarouge, le Bluetooth et les Communications radio Zig Bee.
- Une adéquation entre l'utilisation et la consommation de l'énergie capable d'assurer une Longévité du réseau.

## **9. Domaines d'application**

Les réseaux de capteurs offrent une facilité de déploiement qui représente un avantage pour utiliser cette catégorie dans différents domaines. En plus, les réseaux de capteurs sans fil sont généralement utilisés pour contrôler certaines activités et surveiller des événements dans un domaine ou dans un environnement spécifique. Les réseaux de capteurs sans fil ont trouvé leur place dans une grande variété d'applications et systèmes, avec des besoins et des caractéristiques nettement différents [8]. Des exemples d'applications potentielles dans différents domaines sont exposés ci-dessous:

**1. Les applications militaires :** Les réseaux de capteurs sont susceptibles d'être une partie intégrante du commandement militaire, surveillance du champ de bataille, la reconnaissance et systèmes de localisation.

**2. Applications à la sécurité:** Les capteurs peuvent d'être utilisé dans de nombreuse applications de sécurité. Par exemple : intégration de capteurs dans les ponts ou bâtiments pour détecter les fissures et les altérations dans la structure suite a un séisme.

**3. Applications médicales :** Dans ce domaine, les capteurs peuvent être utilisés pour surveiller et suivre l'état des patients ainsi que pour l'aide à la localisation des médecins et des patients au sein d'un hôpital.

**4. Applications commerciales :** Dans le domaine commercial les capteurs peuvent être utilisés pour le contrôle de stocks, la surveillance, l'état du matériel...etc.

**5. Applications environnementales :** Dans ce domaine, les capteurs peuvent être exploités pour détecter les catastrophes naturelles par exemple feux de forêts, tremblements de terre, ...etc., étude de mouvement des oiseaux, ainsi que pour surveiller les risques biologiques ou chimiques dans les usines chimiques par exemple.

## 10. Classification des RCSFs

### 1) Selon le mode d'acquisition et de livraison des données à la station de base :

Dans les réseaux de capteurs, le modèle d'acquisition et de livraison des données à la station de base dépend de l'application et de ses exigences. Il peut être :

- **Continu (time-driven)** : Les nœuds doivent périodiquement (intervalle de temps constant) réveiller leurs émetteurs pour envoyer les données captées à la station de base. Ce type de modèle est recommandé dans les applications de surveillance où le but principal est d'avoir des informations régulières de la zone surveillée.
- **Événementiel (event-driven)** : les capteurs envoient leurs mesures seulement quand il y a un événement qui se produit. Ce type de modèle est recommandé pour les applications de surveillance d'événements critiques où le but principal est l'obtention d'une information sur l'évènement le plus rapidement possible.
- **A base de requête (query-driven)** : dans le modèle orienté requêtes, les capteurs mesurent des phénomènes et stockent ces mesures dans leurs mémoires. Ils envoient ces mesures seulement quand ils reçoivent des requêtes de la station de base.
- **Hybride** : c'est une combinaison des trois modèles précédents.

### 2) Selon la distance entre les nœuds capteurs et la station de base :

Dans cette classe de RCSFs, nous distinguons les réseaux multi-sauts (multi-hop WSNs) et les réseaux à un seul saut (Single-hop WSNs). Dans un réseau de capteurs à un simple saut, les nœuds capteurs sont dans le voisinage immédiat de la station de base. Ils envoient alors leurs données captées directement à la station de base sans passer par aucun autre nœud intermédiaire. Dans le réseau de capteurs multi-sauts, la distance entre quelques nœuds capteurs et la station de base dépasse leur portée maximale. Pour envoyer leurs données à la station de base, ils doivent le faire par l'intermédiaire d'autres nœuds. Ce type de réseau a une large gamme d'application mais il est difficile à mettre en œuvre [9].

### 3) Selon les capacités des nœuds du réseau :

Dans cette classe, nous distinguons deux sous-classes selon le type de nœuds : homogènes ou hétérogènes [9.10]. Dans un réseau de capteurs homogène, tous les nœuds du réseau ont les mêmes capacités du point de vue d'énergie, capacité de calcul et capacité de stockage. Alors que, dans un réseau de capteurs hétérogène il y a quelques nœuds sophistiqués qui ont plus de capacité de traitement et de communication que les nœuds

normaux. Cela améliore l'efficacité énergétique et prolonge la durée de vie du réseau. L'avantage d'un tel réseau est que ces nœuds sophistiqués peuvent être utilisés pour exécuter des tâches plus complexes et agir comme des coordinateurs, des chefs de clusters (cluster-heads), etc. Son inconvénient est qu'il est difficile de positionner ces nœuds quand le déploiement est aléatoire. En outre, le coût de ces nœuds est élevé.

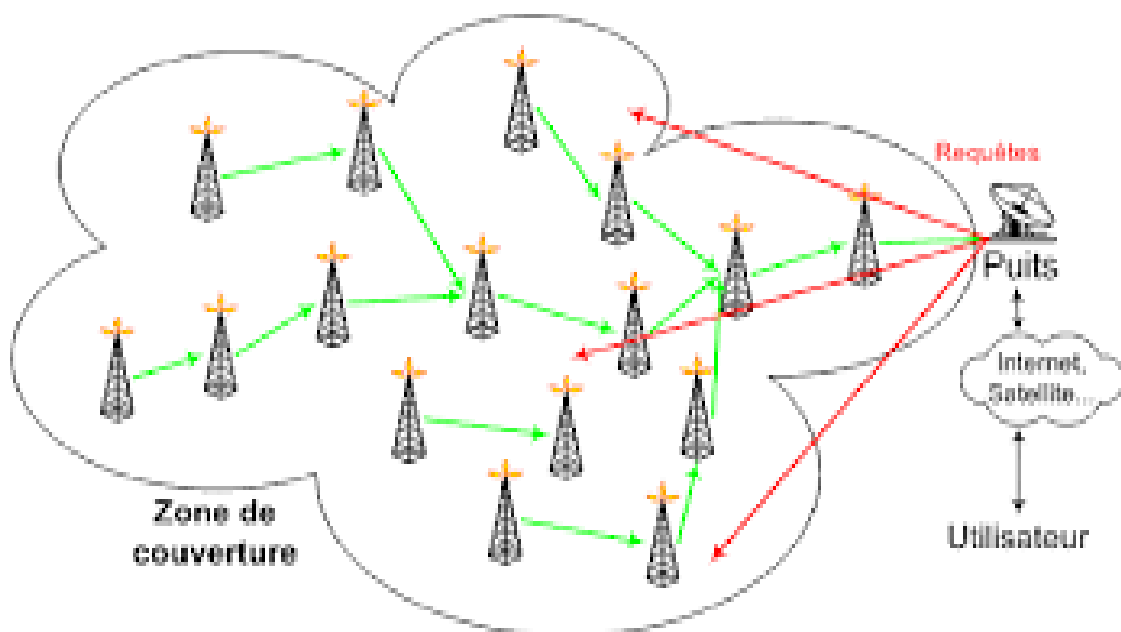
#### 4) Selon le modèle de mobilité dans le réseau :

Dans cette classe, nous regardons la mobilité des nœuds capteurs et celle de la station de base. Nous pouvons distinguer deux grandes catégories de réseaux : réseaux statiques et réseaux dynamiques ou mobiles (static and mobile networks). On peut par exemple avoir un réseau constitué d'un ensemble de nœuds capteurs mobiles et d'une station de base fixe. Ce type de réseau permet l'exploration de zones inaccessibles ou dangereuses. On peut également avoir un réseau constitué de capteurs fixes et d'une station de base mobile. Le but est de minimiser la consommation d'énergie et éviter ainsi la déconnexion du réseau et la perte de données.

### 11. Collection des informations dans un RCSF :

Il existe deux méthodes de collection d'information dans les RCSFs :

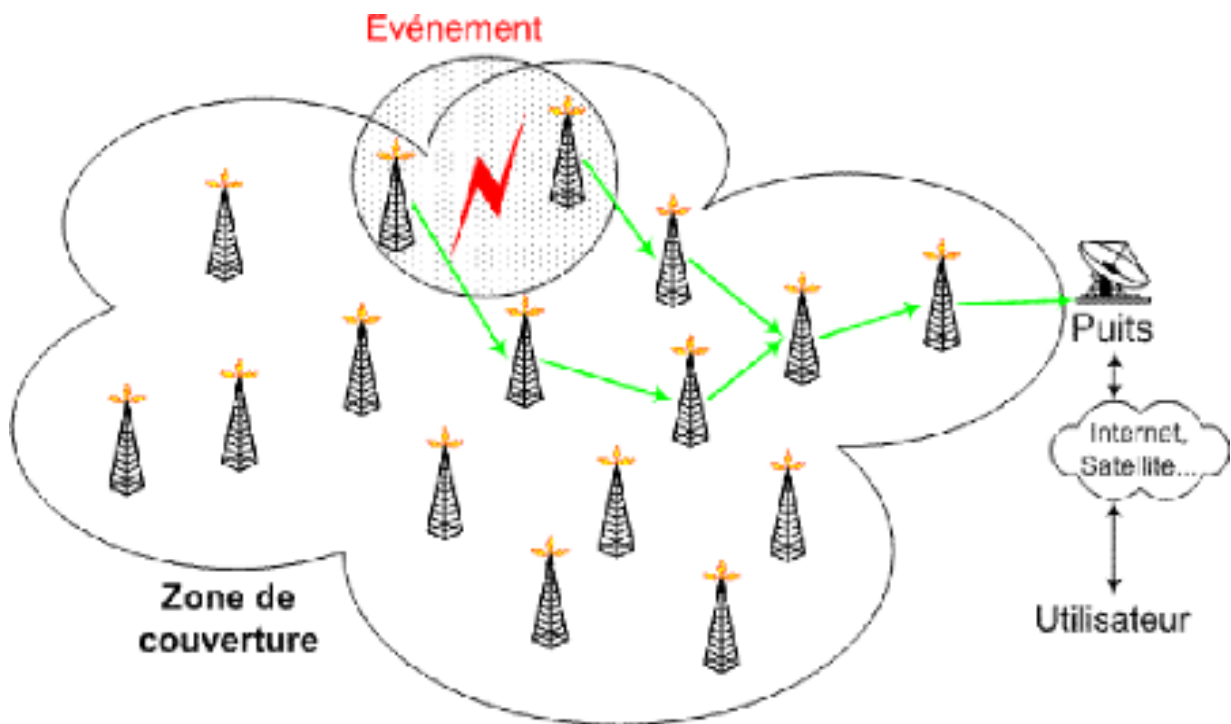
#### 1. A la demande :



*Figure 1.6 : Méthode à la demande de collection des informations dans un RCSF.*

Lorsque l'on souhaite avoir l'état de la zone de couverture à un moment T, le puits émet des broadcastas vers toute la zone pour que les capteurs remontent leur dernier relevé vers le puits. Les informations sont alors acheminées par le biais d'une communication multi-sauts.

## 2. Suite à un événement :



*Figure 1.7 : Méthode de collection suite à un événement des informations dans un RCSF.*

Un événement se produit en un point de la zone de couverture (changement brusque de température, mouvement, etc.), les capteurs situés à proximité remontent alors les informations relevées et les acheminent jusqu'au puits [11].

## 12. Les architectures de communication dans les RcSF

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 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 C<sub>4</sub> et C<sub>5</sub>) : 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 C<sub>4</sub> et C<sub>3</sub>) : 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.

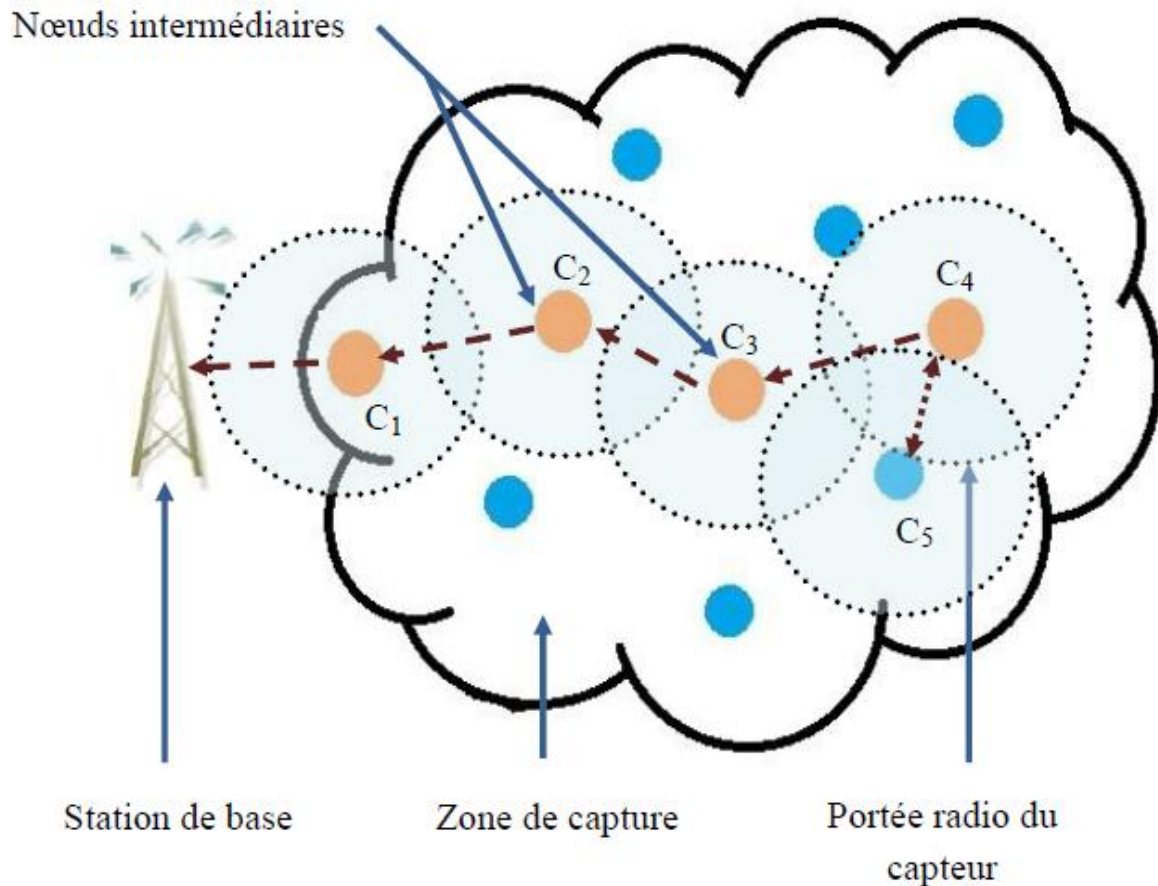


Figure 1.8 : Communication multi-sauts dans un réseau de capteurs sans fil

### 13. Sécurité dans les RCSF

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.

#### 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 [12]

### 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.

- **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.

- **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.

- **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

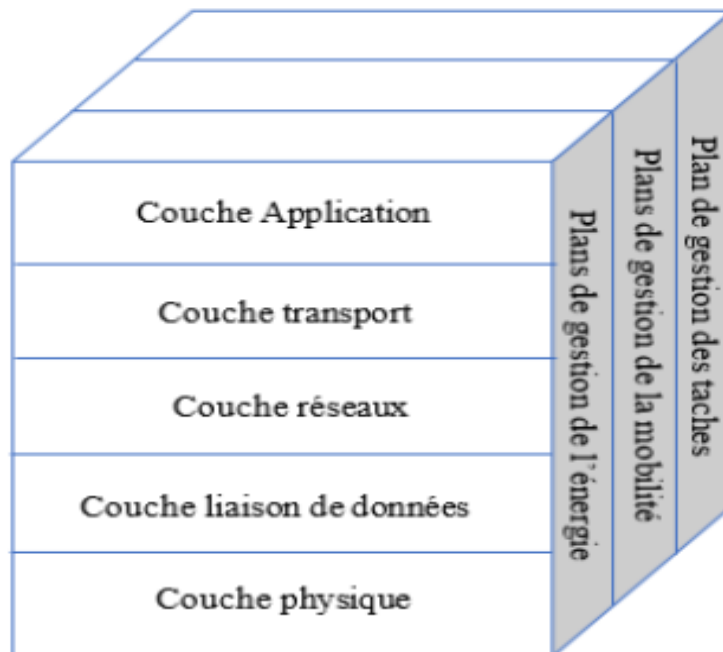
les nœuds du réseau.

- **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.

- **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 [13].

## 14. Pile protocolaire

Dans le but d'améliorer la robustesse du réseau de capteurs sans fil et assurer certaines fonctionnalités, une architecture en couches est adoptée. La pile protocolaire [14] utilisée par la station de base ainsi que par tous les autres nœuds capteurs du réseau est illustrée par la Figure ci-dessous. Ce modèle comprend 5 couches (une couche application, une couche transport, une couche réseau, une couche liaison de données, une couche physique) qui ont les mêmes d'énergie, un plan de gestion de mobilité et un plan de gestion des tâches.



*Figure1.9 : Pile protocolaire dans les réseaux de capteurs sans fils*

- **La couche physique** : La couche physique est responsable de la bonne émission et réception de données, de la sélection des fréquences et de la détection du signal.

- **La couche liaison de données** : Cette couche est responsable du multiplexage Du flux de données, de la détection et du verrouillage des trames de données et du contrôle des erreurs. Elle assure une connexion faible (point à point ou point-à-multipoints) selon la topologie du réseau de capteurs. La sous-couche MAC (Media Access Control) de la couche liaison de données gère le contrôle d'accès au média, elle détermine, pour un nœud, la possibilité et le moment pour accéder canal de communication.

- **La couche réseau** : La couche réseau s'occupe de l'acheminement des données (trouver une route et une transmission fiable des données) captées, des nœuds capteurs vers la station de base en optimisant l'utilisation de l'énergides capteurs.

- **La couche transport** : Cette couche est chargée du transport des données sans réordonnancèrent ou duplication, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.

- **La couche application** : C'est le niveau le plus proche de l'utilisateur, elle assure l'interface avec les applications. Selon les tâches de détection, différents types d'applications peuvent être implémentés et utilisés sur la couche application. Quant aux niveaux (plans) intégrés dans la pile protocolaire dans les RCSFs, ils assurent les fonctions suivantes :

**1. Le plan de gestion d'énergie** : La vie du nœud montre une dépendance forte à l'égard de la vie de la batterie. Les fonctions intégrées à ce niveau consistent à gérer l'énergie consommée par les capteurs. Un capteur peut par exemple éteindre son interface de réception radio dès qu'il reçoit un message d'un nœud voisin afin d'éviter la réception des messages dupliqués.

**2. Le plan de gestion de mobilité** : Selon le type d'application, les nœuds capteurs peuvent être mobiles. Ce plan est responsable d'enregistrer les mouvements d'un nœud et de connaître sa localisation.

**3. Plan de gestion de tâches** : Le niveau de gestion des tâches assure l'équilibrage et la distribution des tâches sur les différents nœuds du réseau, afin d'assurer un travail coopératif et efficace en matière de consommation d'énergie, ce qui permet de prolonger la durée de vie du réseau.

## **15. Conclusion**

Les réseaux de capteurs sans fil présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Cette nouvelle technologie suscite un intérêt croissant vu la diversité de ces applications : santé, environnement, industrie

Dans ce chapitre nous allons présenter des généralités sur les réseaux de capteurs sans fil. Tout d'abord nous allons commencer par la présentation d'un capteur sans fil. Ensuite nous allons aborder la définition, l'architecture, les contraintes, les domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil (RCSF).

Dans ce chapitre, nous allons présenter tout d'abord les différentes méthodes d'accès au média, ensuite, nous aborderons les différents protocoles de routage dans les RCSF.

**CHAPITRE II :**  
**LES MÉTHODES**  
**D'ACCÈS AU MÉDIA**  
**ET LES PROTOCOLES**  
**DES ROUTAGES**  
**DANS LES RCSE<sub>s</sub>**

## 1. Introduction :

Un support de transmission sans fil est caractérisé par sa nature de diffusion où la transmission d'un nœud est interceptée 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 qui organise l'accès au media est très importante.

Un réseau de capteurs sans fil est composé d'un ensemble de nœuds capteurs utilisés pour détecter, recueillir et transmettre des données vers un nœud particulier appelé station de base (ou nœud puits) à travers des liaisons sans fil. L'acheminement des données est assurée par la coopération des différents nœuds dans le réseau afin de construire une route multi-sauts entre les nœuds source et la station de base (le nœud puits). Dans la littérature, il existe plusieurs types de protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil conçus pour assurer cette tâche.

Dans ce chapitre, nous allons présenter tout d'abord les différentes méthodes d'accès au média, ensuite, nous aborderons les différents protocoles de routage dans les RCSF.

## 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.

## 3. Classification des méthodes d'accès au média

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

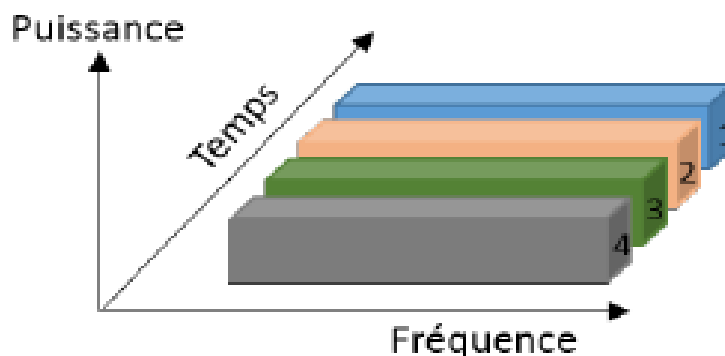
- Méthodes d'accès par réservation (statique)
- Méthodes d'accès par contention (dynamique)

### 3.1 Les Méthodes accès par réservation (statique) :

#### 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 [15]. 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.



*Figure2.1 : accès par TDMA*

#### 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 [16]. 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.

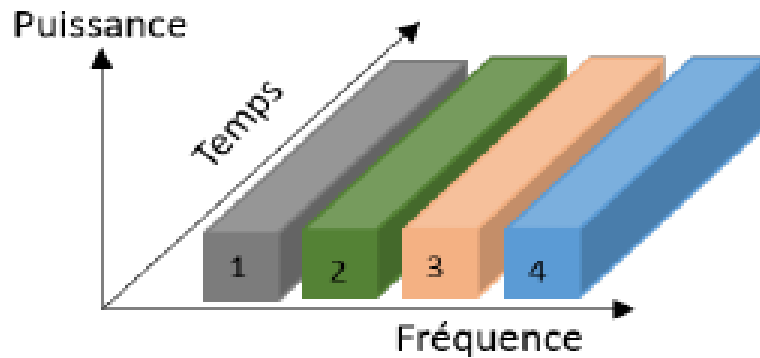


Figure2.2 : accès par FDMA

**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 (Code division multiple Access) :**

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 [17]

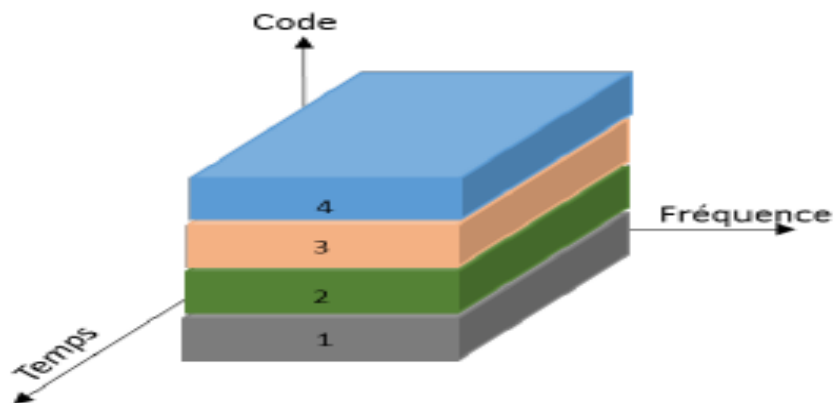


Figure2.3 : accès par CDMA

### 3.1.3.1 Le principe de méthode CDMA

- 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 sequence : 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

- 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 au 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 :  $(-1 \cdot -1 + -3 \cdot 1 + 1 \cdot -1 + -1 \cdot 1) / 4 = -4 / 4 = -1$

bit2 :  $(1 \cdot -1 + -1 \cdot 1 + -1 \cdot -1 + -3 \cdot 1) / 4 = -4 / 4 = -1$

### 3.1.3.3 Les avantages et les inconvénients du CDMA

#### ➤ Les Avantage

- 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.[18]

#### ➤ 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.[18]

## 3.2 Les Méthodes accès par contention (dynamique) :

### 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.[16]

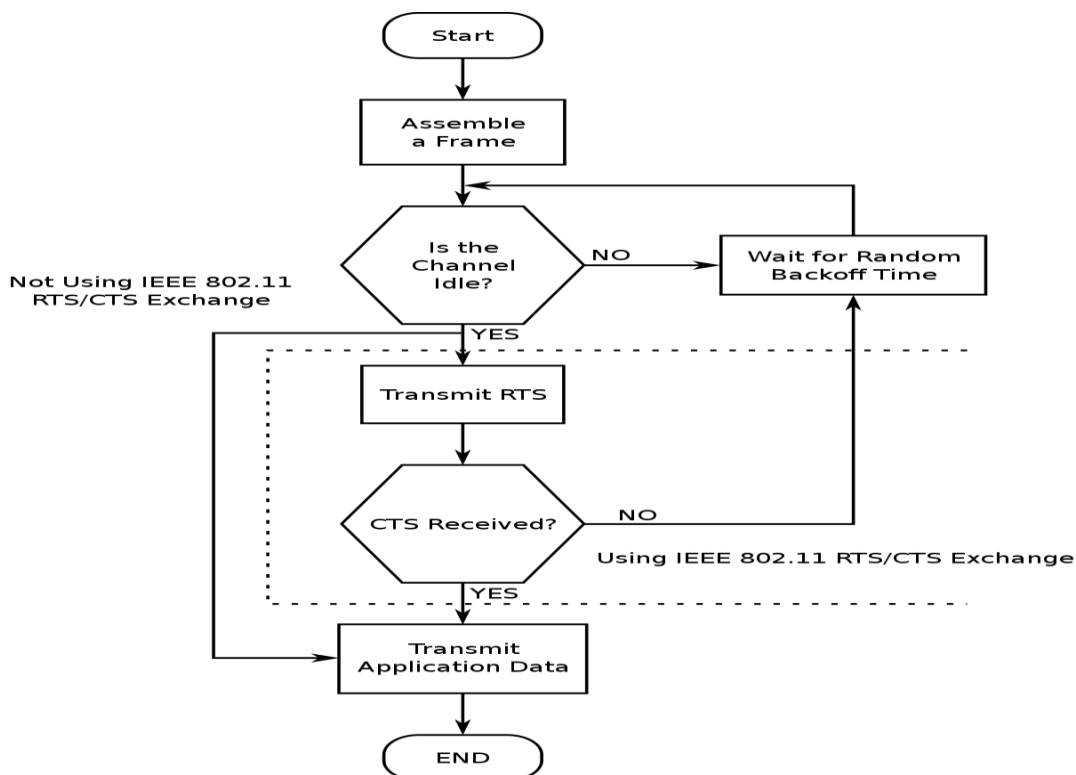
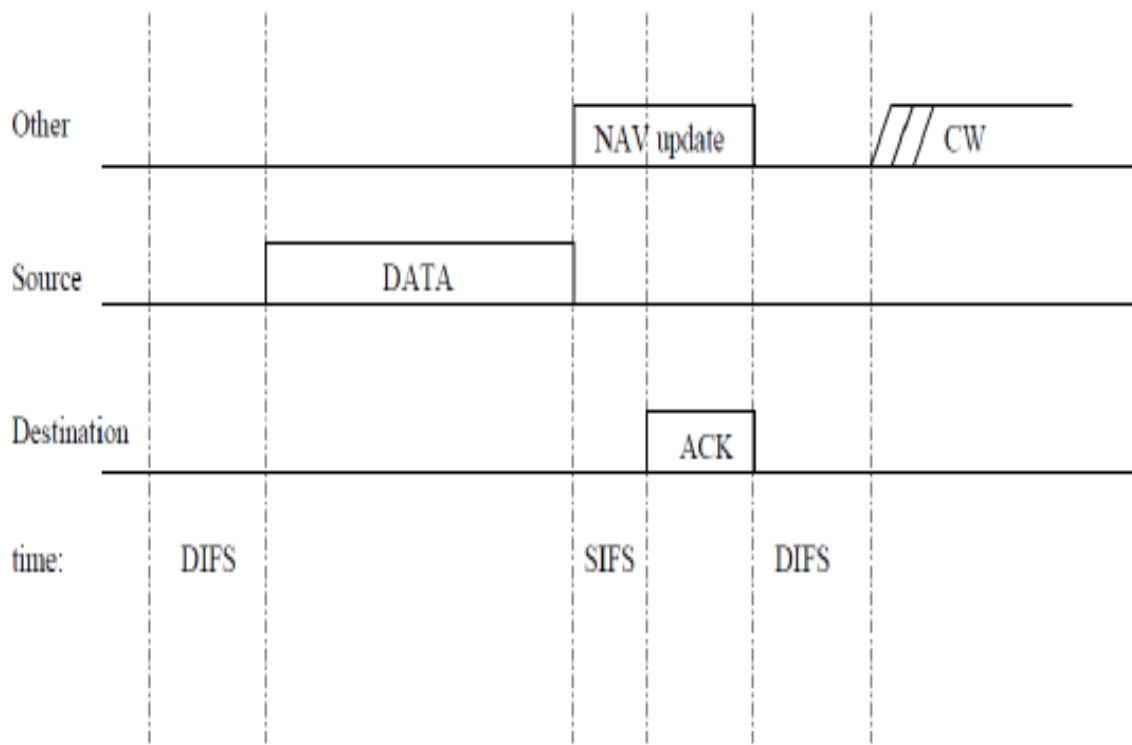


Figure 2.5 : accès par CSMA/CS

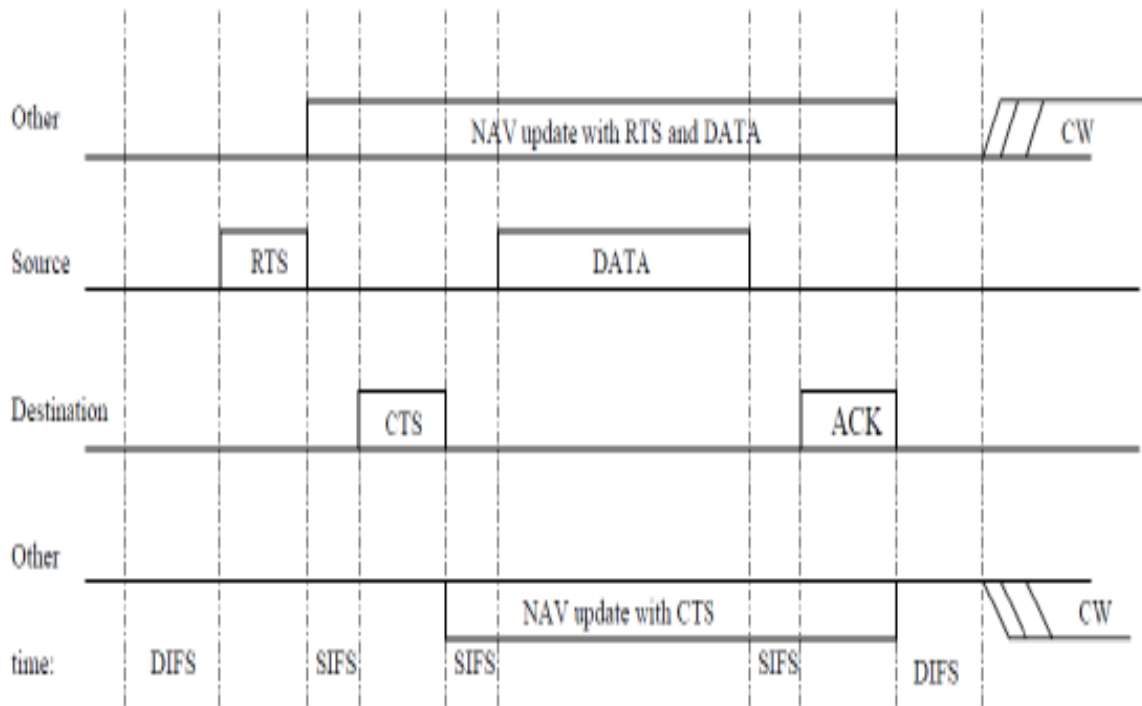
### 3.2.1.1 Principe de fonctionnement de CSMA/CA

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,  $CW_{max}$ .



*Figure 2.6 : CSMA/CA Basique*

Lorsque le mode RTS/CTS est active par le nœud possédant un paquet à transmettre, ce dernier transmet un message de demande d'accès RTS comme représenté 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 réservé. Tous les nœuds reportent leurs transmissions pour la durée spécifiée dans le message RTS: ce mécanisme est appelé détection virtuelle. Après la réception réussie d'un paquet de données, un paquet d'acquittement (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  $[0; CW-1]$ . 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.



*Figure 2.7 : CSMA/CA - RTS/CTS*

### 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 [19].

Avantages	Inconvénients
Aide à prévenir les collisions de données	Établi un temps d'attente
Grâce à la rétroaction, les données ne sont pas perdues.	Provoque du trafic supplémentaire
Évite le trafic de données inutile avec l'extension RTS/CTS	Résout le problème des stations cachées uniquement par extension RTS/CTS
	Crée le problème de la station exposée par l'intermédiaire de RTS/CTS.

*Tableau2.1 : Les avantages et les inconvénients de CSMA/CA*

## 1. routage

Le routage dans les réseaux sans fils est une opération essentielle. Le routage dans ces réseaux est une tâche coopérative entre tous les nœuds pour construire une infrastructure permettant de ramener les données à partir des nœuds sources jusqu'à la station de base.

## 2. Les stratégies de routages des données dans les RCSF

Les réseaux de capteurs sont des systèmes sans fil à commutation de paquets. Ils partagent de nombreuses propriétés avec les autres réseaux, et sont particulièrement similaires à MANET dans de nombreux aspects (par exemple, l'auto-organisation, les sauts multiples et l'absence d'une infrastructure) [20].

Le choix d'une stratégie de routage pour un réseau de capteurs dépend de plusieurs contraintes comme l'environnement de propagation, la capacité des nœuds et les exigences de l'application de détection. Afin de créer un bon cadre d'intégration des applications, la conception efficace d'un réseau de capteurs est liée à plusieurs paramètres tels que :

- **Livraison en temps réel** : Certaines applications nécessitent que le message soit livré dans un délai bien déterminé, sinon le message devient inutile après la limite de temps. Par conséquent, l'objectif principal de ces protocoles est de contrôler complètement la latence du réseau. Les performances des protocoles de routage peuvent être évaluées en comparant le temps moyen de livraison avec les contraintes temporelles.

- **Durée de vie du réseau** : l'application doit s'exécuter au niveau des nœuds de capteurs aussi longtemps que possible. Par conséquent, les protocoles visant cette préoccupation tentent d'équilibrer la consommation d'énergie de manière égale entre les nœuds en prenant en compte leurs niveaux d'énergie résiduelle [21]. Cependant, la métrique utilisée pour déterminer la durée de vie du réseau dépend aussi de l'application. La plupart des protocoles considèrent que la durée de vie du réseau est la période de temps jusqu'à ce que le premier nœud meure.

L'efficacité énergétique est une préoccupation majeure dans les réseaux de capteurs. En effet, les difficultés rencontrées en raison des ressources énergétiques limitées et la bande passante réduite dans un RCSF lors de la gestion du réseau nécessitent l'optimisation de la consommation de l'énergie à tous les niveaux de la pile de protocole du réseau. Pour offrir une gestion efficace de l'énergie dans un RCSF, la couche réseau offre un meilleur moyen qui

assure un relais des données fiable et une faible consommation d'énergie au sein d'un réseau, ce qui peut aider à maximiser la durée de vie du réseau.

La plupart des techniques de routage RCSF dépendent des informations de localisation de nœuds de capteurs pour l'estimation de la distance entre le nœud émetteur et le nœud récepteur. Par exemple, pour détecter une région connue, grâce à l'utilisation de la sonde délocalisation, une requête spécifique peut être envoyée à cette région connue et cela permettra de réduire de manière significative les données transmises en comparaison à une requête de diffusion envoyée à l'ensemble du réseau. En d'autres termes, le protocole basé sur la localisation utilise les informations de position pour transmettre les données vers les régions souhaitées, plutôt que l'ensemble du réseau. Dans, les auteurs ont conçu un réseau de capteurs sans fil installé dans les véhicules permettant de localiser les véhicules proches sur la route et d'éviter les collisions dans les routes rurales. Un algorithme basé sur la position des véhicules pour transmettre les données entre les véhicules est proposé. Cependant, les auteurs n'ont pas présenté une implémentation de cet algorithme dans un environnement réaliste.

D'autres algorithmes de routage consistent à diviser la zone de couverture en plusieurs régions en se basant sur l'idée de sélectionner des niveaux de puissance d'émission appropriés pour garantir la connectivité du réseau, tout en économisant l'énergie [22].

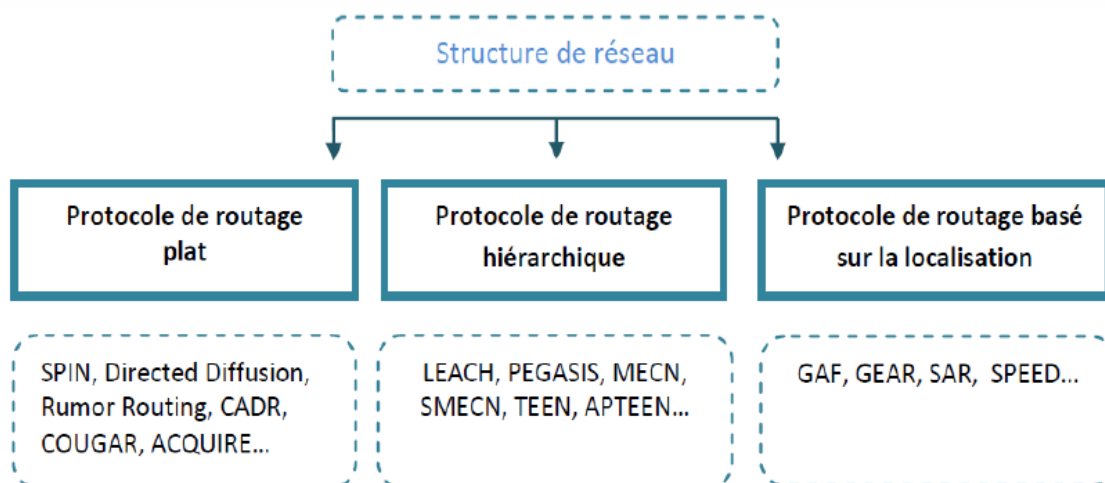
Une autre approche de routage largement utilisée dans les réseaux de capteurs consiste à construire des chaînes de grappes et définir une tête pour chaque grappe afin de réduire la consommation de l'énergie totale dans le réseau. Cette approche utilise un routage hiérarchique qui organise les nœuds en chaînes de grappes et effectue l'élection des têtes associées aux grappes.

### 3. Classification des protocoles de routage dans les RCSFs

Les protocoles de routage dans les réseaux peuvent être classés selon deux concepts :

- ✓ La structure de réseau.
- ✓ Le type de protocole.

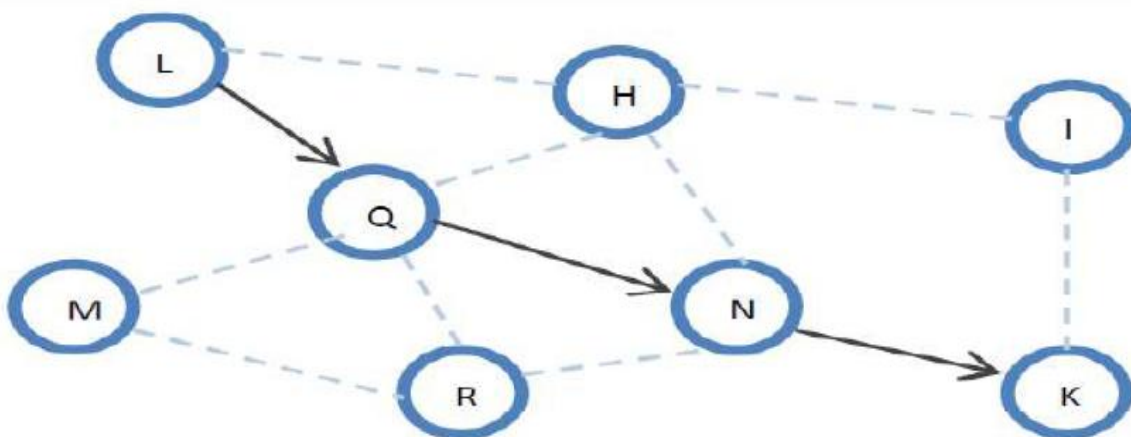
### 3.1 Selon La structure de réseau (Topologie) :



*Figure3.1 : Protocoles de routage pour les RCSF selon la structure du réseau..*

#### 3.1.1 Les protocoles de 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 nœuds capteurs pour les transmettre vers l'utilisateur final. La décision d'un nœud de router des paquets vers un autre dépendra de sa position et pourra être remise en cause au cours du temps.



*Figure3.2 : routage à plat.*

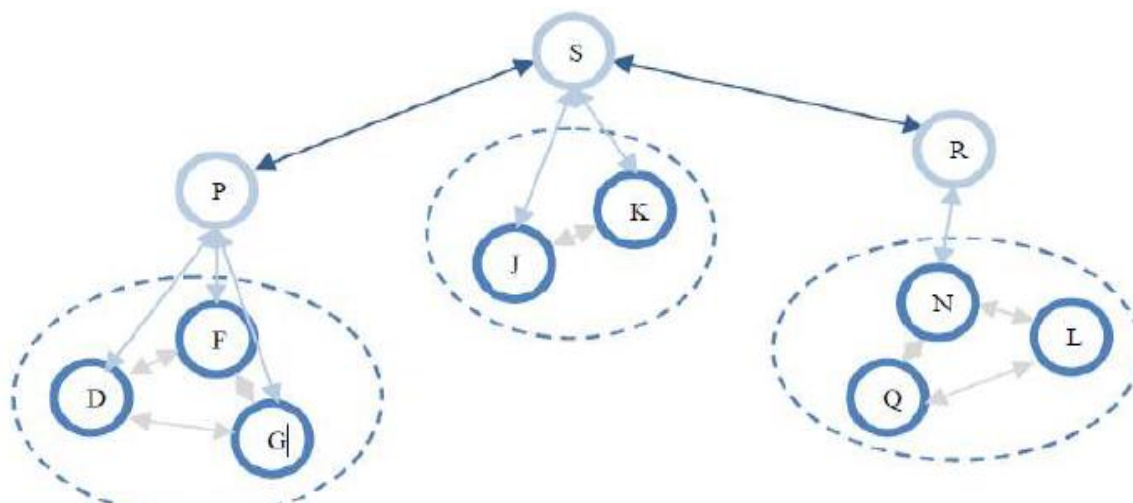
➤ a) **le protocole SPIN** : SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) est un protocole de routage qui se base sur le principe de métadonnées lors du processus de diffusion de requêtes sur le réseau. Le récepteur de la requête a la possibilité de choisir d'accepter la donnée ou non. C'est le principe de la négociation. SPIN est considéré comme le premier protocole data centrique destiné aux RcSF. Tous les nœuds du réseau sont traités comme des nœuds de destination dont la tâche principale est de recueillir un point de vue globale sur leur environnement. Egalement, SPIN s'attaque à la redondance de données transmises sur un réseau de capteurs sans fil [23].

➤ b) **le protocole Directed Diffusion (DD)** : Directed Diffusion est un protocole de propagation de données, permettant d'utiliser plusieurs chemins pour le routage d'information. Le puits diffuse un intérêt sous forme de requête, afin d'interroger le réseau sur une donnée particulière. Il se base sur le modèle publish/subscribe. DD repose sur les éléments suivants : nomination des données, propagation des intérêts et établissement des gradients, propagation des données et renforcement des chemins [24]

➤ c) **le protocole Rumour Routing** : est un algorithme de routage de réseau de capteurs sans fil, qui vise à réduire la consommation d'énergie par rapport aux algorithmes qui inondent l'ensemble du réseau de requêtes ou de messages d'événement. L'algorithme est unable et son utilité dépend de la façon dont les paramètres de configuration sont définis pour l'événement particulier et distribution des requêtes dans le réseau. L'algorithme gère également les défaillances de nœuds et permet des compromis entre les frais généraux d'installation et la fiabilité de la livraison

### 3.1.2 Les protocoles de routage hiérarchique :

Dans le routage hiérarchique, le réseau est partitionné en groupes appelés "clusters". Un cluster est constitué d'un chef (cluster-Head) et de ses membres. Le cluster-Head collecte étagère les données et vérifie si les données collectées ne sont pas redondante avant de les envoyer au sink. Cela permet d'économiser l'énergie en minimisant le nombre de messages transmis à la destination. LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchical) est l'un des premiers protocoles de routage pour les réseaux de capteurs.



*Figure3.3 : routage hiérarchique.*

➤ **a) le protocole LEACH:** LEACH (*Low-Energy Adaptive Clustering. Hierarchy*) est l'un des protocoles les plus populaires pour les réseaux de capteurs sans fil [25]. Son principe est de former des zones communes de calcul et de traitements en se basant sur la puissance du signal et le niveau d'énergie des nœuds capteurs. Chaque zone est dirigée par un chef de zone, jouant le rôle d'agrégateur et de routeur, en effectuant des traitements sur les données reçues de son cluster et leur expédition vers la prochaine destination. Ce rôle de chef de zone est échangé entre les nœuds d'un cluster afin de répartir équitablement la consommation d'énergie entre eux.

➤ **b) le protocole PEGASIS et Hierarchical PEGASIS :** PEGASIS [26] (*Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems*) et Hierarchical PEGASIS [27] sont des versions améliorées du protocole LEACH. Pour ces deux protocoles, le réseau est vu comme un arbre, les nœuds forment des chaînes plutôt que des clusters. Un nœud transmet et reçoit uniquement les données de son voisin. Chaque nœud est considéré comme un nœud agrégateur, ses données reçues sont traitées et envoyées au prochain nœud de la chaîne. Ainsi, toutes les données capturées sont fusionnées et transmises par un seul nœud désigné pour communiquer avec la station de base [60]. Les nœuds qui transmettent à la station de base sont choisis, pour un intervalle de temps bien défini, selon la politique de remplacement Round Robin dans le but de répartir équitablement l'énergie consommée durant un round de transmission. Hierarchical PEGASIS se présente comme une variante de PEGASIS qui tente

de réduire les délais de transmission par l'envoi simultané de messages et la prise en considération de la métrique (énergie – retard).

c) **le protocole TEEN et APTEEN** : TEEN [28] (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network Protocol) et son extension APTEEN [29] (AdaPtive Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network Protocol) sont des protocoles de routage hiérarchiques orientés données qui conviennent aux applications sensibles à des changements soudains des attributs de la zone à surveiller. En effet, ces deux protocoles ont une réactivité importante à des changements improvisés des valeurs captées par les nœuds capteurs. De plus, APTEEN possède des caractéristiques supplémentaires par rapport au protocole TEEN lui permettant de répondre plus rapidement aux besoins des utilisateurs des applications temps réel en modifiant les paramètres, notamment la périodicité, du protocole TEEN.

### 3.1.2.1 Caractéristiques d'un protocole hiérarchique

Un protocole de routage hiérarchique doit spécifier plusieurs tâches que nous pouvons classer selon :

- **L'algorithme de clustering utilisé** : Plusieurs algorithmes sont proposés dans la littérature, un classement en trois types de ces algorithmes est proposé dans [30] en se basant sur le type d'algorithme de contrôle exécuté :

**Centralisé** : l'algorithme est exécuté sur le nœud qui a une vue globale du réseau, généralement, au niveau du sink. Ce type d'algorithme est peu utilisé à cause de l'overhead c'est-à-dire, le surcoût, généré suite aux transmissions exécutées pour pouvoir garder la vue globale du réseau et la dynamique de la topologie qui fait que cette vue soit très variable. La vue obtenue par un nœud peut ne plus être valide à l'instant où le nœud la récupère à cause de pannes et des imprévisibles déconnexions.

**Distribué** : l'algorithme est exécuté en coopération au niveau de chaque nœud du réseau. La synchronisation des tâches de contrôle est obtenue en échangeant des messages de contrôle. Ce type d'algorithme minimise la communication relative à la sauvegarde de la vue globale du réseau, car chaque nœud décide, indépendamment des autres, son rôle et fait connaître sa décision par l'envoi de message. Cependant, l'efficacité de ces algorithmes dépend de la taille et du nombre de ces messages de synchronisation.

**Géographique :** l'algorithme de la tâche de contrôle à exécuter par un nœud dépend de sa position géographique

- **La réélection des CHs :** Par sa fonction, le nœud CH consomme plus d'énergie par rapport aux autres nœuds du réseau. Le CH coordonne le fonctionnement des nœuds membres de son cluster et agrège leurs données, de ce fait, il dissipe plus d'énergie créant un déséquilibre de la distribution de l'énergie sur le réseau. Pour pallier à ce problème, une rotation de ce rôle de CH est organisée au sein du cluster ou bien au sein du réseau entier. La rotation est effectuée périodiquement ou bien en fonction de la consommation de l'énergie du nœud CH [30]

- **La nature des clusters générés :** Les algorithmes de Clustering utilisés peuvent générer deux types de cluster: des clusters disjoints et des clusters interconnectés. Dans le premier type, un nœud ne peut appartenir qu'à un et un seul cluster à la fois (le cas le plus fréquent); sauf que pour des applications spécifiques telles que le routage inter-cluster, la localisation et la synchronisation des nœuds; les clusters interconnectés sont utilisés. Ce type de clustering permet aux nœuds d'appartenir à un ou plusieurs clusters à la fois.

- **La communication intra-cluster :** La communication entre le nœud CH et les autres nœuds membres du cluster peut se faire, soit en un seul saut soit, en plusieurs sauts. Dans le cas d'une communication direct (en un saut), les paquets de données sont envoyés directement au CH. Cela suppose que les nœuds membres sont capables d'atteindre le CH en utilisant une transmission assez puissante pour une bonne réception de données. Ce type de communication engendre une consommation importante d'énergie si la distance, entre le CH et les nœuds, est grande. Pour réduire la consommation de l'énergie, une communication en plusieurs sauts, de petites distances, est utilisée. Dans ce cas, chaque membre du cluster envoie ses données au plus proche membre de son cluster jusqu'à l'aboutissement au CH. Des communications de type « Unicast » sont souvent utilisées pour réduire le nombre de collisions. On trouve aussi des techniques employées au niveau MAC pour garantir un accès équitable et sans erreurs, à savoir, CDMA en utilisant un code pour chaque cluster, TDMA en allouant pour chaque nœud du cluster un temps spécifique, dit frame, pour envoyer ses données, ou bien, FDMA où chaque nœud utilise une fréquence spécifique pour l'envoi de données [31]

- **La communication inter-cluster :** Les CHs communiquent avec la (les) station(s) de base soit directement, soit en deux ou plusieurs sauts via des nœuds appelés généralement des nœuds Gateway. Ces nœuds peuvent être des CHs ou bien des nœuds membres d'un cluster.

L'utilisation de la communication en multi-sauts permet de réduire la consommation d'énergie et d'augmenter la scalabilité du réseau.

- **Le niveau d'agrégation de données** : Selon le type des capteurs utilisés, l'agrégation de données peut se faire à chaque nœud du réseau ou bien uniquement au niveau des CHs. L'agrégation des données permet de réduire la taille des données échangées entre les nœuds, et par conséquent réduire l'énergie dépensée. Plusieurs techniques d'agrégation sont utilisées à savoir des fonctions élémentaires comme la somme, la moyenne, l'écart type, ...etc. ou bien des fonctions plus complexes spécifiques aux applications utilisées.

### 3.1.3 Les protocoles de routage avec localisation géographique :

Dans le routage basé sur la localisation, le routage est effectué en utilisant l'emplacement des nœuds. Selon la force des signaux entrants, il est possible de calculer la distance du nœud voisin le plus proche. Ils permettent la transmission directionnelle de l'information en évitant l'inondation d'information dans l'ensemble du réseau. Par conséquent, le coût de contrôle de l'algorithme est réduit et le routage est optimisé. De plus, avec la topologie réseau basée sur des informations de localisation de nœuds, la gestion du réseau devient simple

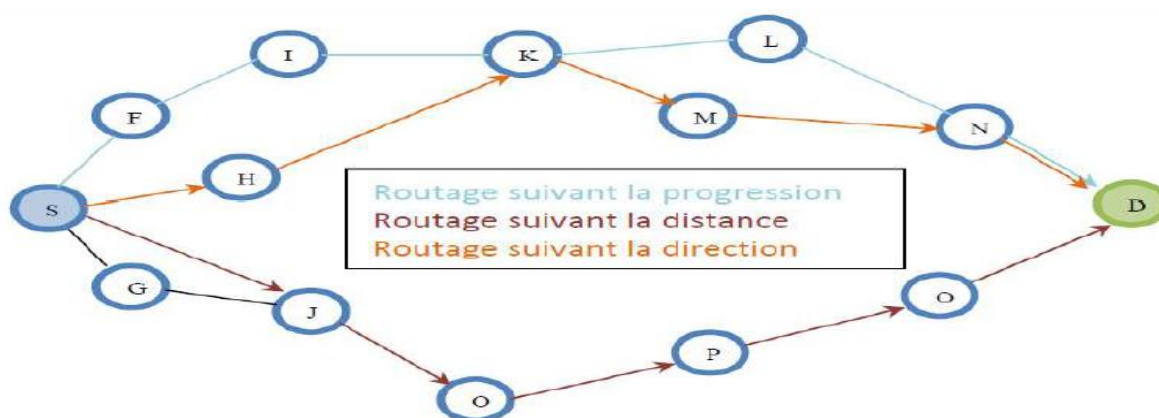
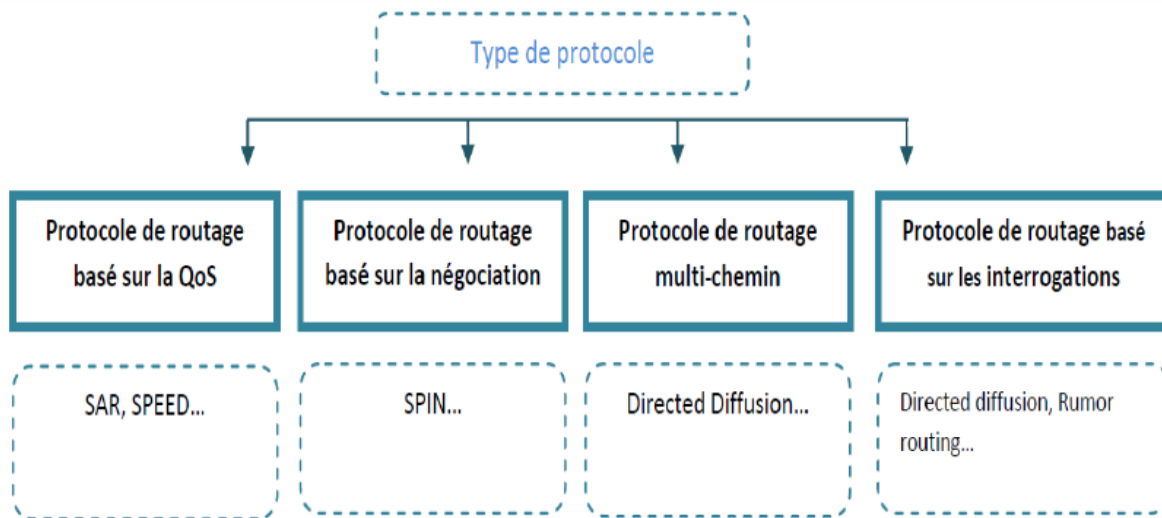


Figure 3.4 : Routage avec localisation géographique.

➤ **a) le protocole GEAR** : Le protocole GEAR [32] (Geographic and Energy Aware Routing) est un protocole de routage basé sur les informations géographiques des nœuds capteurs. Les informations géographiques sont utiles pour restreindre le champ de diffusion des requêtes d'intérêts et ne prendre en considération que les régions ciblées.

### 3.2 Selon le type de protocole :



*Figure3.5 : Protocoles de routage pour les RCSF selon le type de protocole.*

#### 3.2.1 Protocole de routage basé sur la qualité de service

Dans les protocoles de routage basés sur QoS, le réseau doit équilibrer entre la consommation d'énergie et la qualité de données. En particulier, le réseau doit satisfaire certaines métriques de QoS, par exemple : retard, énergie, largeur de bande passante, etc. Les protocoles de cette approche sont très recommandés pour les applications de surveillance (centrales nucléaires, applications militaires, etc.) [33]

#### 3.2.2 Protocole de routage basé sur la négociation des données :

En détectant le même phénomène, les nœuds capteurs inondent le réseau par les mêmes paquets de données. Ce problème de redondance peut être résolu en employant des protocoles de routage basés sur la négociation. En effet, avant de transmettre [34], les nœuds capteurs négocient entre eux leurs données en échangeant des paquets de signalisation spéciales, appelés META-DATA. Ces paquets permettent de vérifier si les nœuds voisins disposent des mêmes données à transmettre. cette procédure garantit que seules les informations utiles seront transmises et élimine la redondance des données.

#### 3.2.3 Protocoles de routage multi-chemins :

Dans cette catégorie, les protocoles de routage utilisent des chemins multiples plutôt qu'un chemin simple afin d'augmenter la performance du réseau. La fiabilité d'un protocole peut

être mesurée par sa capacité à trouver des chemins alternatifs entre la source et la destination en cas de défaillance du chemin primaire. Pour cette raison, certains protocoles construisent plusieurs chemins indépendants, c.-à-d, qu'ils ne partagent qu'un nombre réduit (voir nul) de nœuds. Malgré leur grande tolérance aux pannes, ces protocoles requièrent plus de ressources énergétiques et plus de messages de contrôle [33]

### 3.2.4 Protocole de routage basé sur les interrogations :

Le routage basé sur les interrogations propage les requêtes émises par la station de base. La station de base envoie des requêtes demandant certaines informations des nœuds du réseau, le nœud, qui est responsable de la détection et de la collecte des données, lit ces requêtes et s'il y a égalité avec les données demandées dans la requête commencent à envoyer les données à la station de base.

Le tableau présente la comparaison de quelques protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil.

Protocole	Architecture	Type du routage	Prends en compte l'énergie	Communication	Agrégation de données	Qualité de service (QoS)
LEACH	Hiérarchique	A base de clusters	Oui	Multi-sauts	Oui	Non
TEEN / APTEEN	Hiérarchique	A base de clusters	Oui	Multi-sauts	Oui	Non
PEGASIS / Hierarchical PEGASIS	Hiérarchique	A base de chaînes	Oui	Multi-sauts	Non	Non
SPIN	Data centric	Négociation	Oui	Multi-sauts	Oui	Non
Directed diffusion (DD)	Data centric	Multi-chemins	Oui	Multi-sauts	Oui	Non
Rumour Routing	Data centric	Inondation	Oui	Multi-sauts	Non	Non
GEAR	Géographique	Basé sur les informations géographiques des capteurs	Oui	Multi-sauts	Non	Non

*Tableau 3.1: Les principaux protocoles de routage dans les RcSF*

## 1. Critères de performance des protocoles de routage

Nous allons présenter, dans cette section, certaines métriques permettant de mesurer l'efficacité et la robustesse des protocoles de routage face aux menaces et contraintes des RcSF. Les performances d'un protocole de routage se mesurent par sa capacité à assurer les tâches de construction et de maintenance de routes et de la transmission d'informations sur le réseau à moindre coûts et à des temps de traitement et de transfert raisonnables. Il est primordial de considérer la consommation d'énergie et l'intégrité des données transmises comme des métriques essentielles pour toute évaluation d'un protocole de routage destinée aux RCSF [35].

- **Consommation d'énergie** : Le nœud capteur doit utiliser son énergie d'une façon optimale pour ses activités de détection, de traitement et de communication. Un protocole de routage doit gérer les périodes d'activité et d'inactivité des capteurs en incluant des modes « en marche » et « en veille » et avoir la notion de temps pour se mettre en veille et se réveiller. Le mode « en veille » permet au nœud capteur d'éteindre son interface radio et d'empêcher une perte d'énergie due aux écoutes actives et en permanence inutiles de son environnement.

- **Temps de traitement** : C'est le temps pris par un nœud capteur pour effectuer des opérations de calcul sur les données récoltées ou reçues. Ce temps doit être raisonnable pour ne pas causer des retards de transmission d'informations pour des applications critiques et temps réel.

- **La mobilité des nœuds capteurs** : La position des capteurs sur la zone de captage n'est pas toujours fixe. Un nœud capteur peut devenir mobile et changer sa position selon les besoins de l'utilisateur. Des traitements spécifiques pour la maintenance des liens et la mise à jour des informations de routage sont à prévoir lors de la conception d'un protocole de routage.

- **Modes de transmission** : Choisir un mode de communication adéquat à la structure et à la topologie du réseau de déploiement.

- **Sécurité des échanges** : Consiste l'envoi périodique de paquets de contrôle afin d'éviter des collisions et des pertes de données. Un paquet de contrôle peut contenir le nombre de bits émis, l'adresse ou l'identificateur de destination et des informations sur le routage. Ces paquets sont nécessaires afin d'assurer la disponibilité et l'intégrité des données transmises.

## 2. Les limites des protocoles de routage dans les RCSF

La plupart des protocoles de routage proposés pour les réseaux sans fil en particulier pour les RCSF, ont été conçus pour des réseaux de taille modeste. Cependant, lorsque le nombre de nœuds augmente les performances de ces protocoles commencent à se dégrader et on parle de la contrainte de passage à l'échelle.

Le passage à l'échelle est le faite de mettre en place un grand nombre de nœuds dans une zone de couverture. Or, quand le nombre de nœuds augmente cela pourra avoir une influence sur les performances du réseau en termes de latence, etc. En outre, la majorité des protocoles de routage ont été développés pour des réseaux de taille modeste et nous avons remarqué que

lorsque le nombre de nœuds augmente les performances de ces protocoles se dégradent grandement.

Dans les applications orientées événements (Event-Driven), le temps nécessaire pour remonter une information au centre de contrôle doit être réduit pour que l'équipe d'intervention arrive à temps et minimise l'occurrence d'une catastrophe. Cependant, nous avons remarqué que lorsque le nombre de nœuds augmente dans certains protocoles le temps pour envoyer l'information à la station de base devient assez grand et par suite l'intervention dans certains cas devient utile. De ce fait, les protocoles doivent garantir un temps réduit pour alerter le centre de contrôle. Pour se faire, nous avons proposé d'utiliser des heuristiques pour réduire ce temps dans les réseaux denses

### **3. Conclusion**

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté les différentes méthodes d'accès au média et les principaux protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil. Cette étude nous a permis de développer notre contribution avec un objectif de réduire les délais de transmission des paquets.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter plus en détail la solution proposée.

# ***CHAPITRE III :***

---

## ***CONCEPTION***

## 1. Introduction

Le routage hiérarchique est l'une des techniques les plus utilisées pour router les données dans un réseau de capteurs sans fil. Il est basé sur une stratégie de regroupement dans laquelle les nœuds capteurs sont regroupés dans des clusters où un nœud parmi ces nœuds capteurs est sélectionné comme un chef de groupe. Les paquets sont acheminés à travers ce chef de groupe.

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.

Dans ce chapitre nous allons présenter le protocole LEACH (LowEnergy Adaptive Clustering Hierarch). Parce que le protocole LEACH c'est le protocole principale de routage hiérarchique.

## 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  $V$  ssi  $dist(u, v) \leq r$ .

### 3. Description globale du protocole LEACH :

#### 3.1 Principaux composants d'une architecture en cluster:

Les architectures en clusters sont largement utilisées dans les RCSF pour leur capacité de passage à l'échelle. Cette structuration doit permettre une utilisation plus efficace des ressources rares du réseau telles que l'énergie et la bande passante, pour bien comprendre l'avantage des protocoles hiérarchique basé sur le clustering on doit d'abord présenter ces composants.

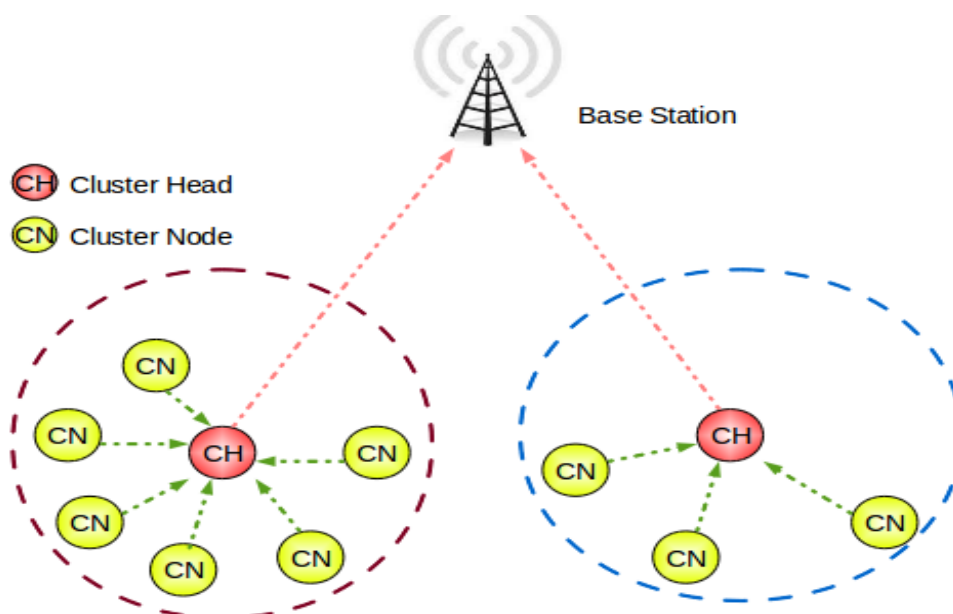


Figure4.1 : les composants d'une architecture en cluster

#### 3.1.1 Cluster :

Groupe de nœuds capteurs qui forme l'unité organisationnelle du réseau. La nature dense des RCSFs exige de les répartir en groupes afin de simplifier les tâches de communication et répondre aux différentes contraintes.

#### 3.1.2 Cluster-heads (leaders- chefs de groupes) :

Sont les représentants des clusters, ils sont souvent requis pour l'organisation des activités dans les clusters. La tâche d'un cluster-head ne se limite pas à l'acheminement des données, mais elle peut être accompagnée par un traitement, agrégation/fusion des données venant des autres capteurs afin de simplifier la gestion du réseau et en particulier optimiser l'exploitation des différentes ressources. Les nœuds peuvent être ordinaires ou dotés de plus d'énergie.

### 3.2 Avantages et inconvénients de LEACH :

Bien que LEACH puisse augmenter la durée de vie du réseau en manipulant ses ressources tout en respectant plusieurs contraintes telle que la consommation d'énergie, il présente certaines limitations. Dans ce qui suit, nous citons quelques avantages et inconvénients du protocole LEACH [36].

#### ❖ Avantage :

✓ **Algorithme distribué :** l'auto-configuration des clusters se fait indépendamment de la BS.

✓ **Rotation des rôles de chefs de groupes :** les CHs sont choisis de façon aléatoire et période que parmi les nœuds formant le cluster ce qui empêche la forte consommation d'énergie pour la transmission des données.

✓ **Faible énergie pour l'accès au média :** Le mécanisme de groupes permet aux nœuds d'effectuer des communications sur des petites distances avec leurs CHs afin d'optimiser l'utilisation du média de communication en la faisant gérer localement par un CH pour minimiser les interférences et les collisions.

✓ **Agrégations des données :** Les CHs compressent les données arrivant de leurs membres, et envoient un paquet d'agrégation au nœud puits afin de réduire la quantité d'informations qui doit lui être transmise. Cela permet de réduire la complexité des algorithmes de routage, de simplifier la gestion du réseau, d'optimiser les dépenses d'énergie et enfin de rendre le réseau plus évolutif [36].

#### ❖ Inconvénients :

✓ **Absence des CHs :** On pourra ne pas avoir des CHs durant un round si les nombres aléatoires générés par tous les nœuds du réseau sont supérieurs à la probabilité  $P_i(t)$ .

✓ **La distance entre le CH et les autres nœuds :** Les nœuds les plus éloignés du CH meurent rapidement par rapport aux plus proches.

✓ **Diminution de l'énergie des nœuds :** cette diminution est due à l'utilisation d'une communication à un seul saut au lieu d'une communication multi-sauts.

✓ **La rotation des CHs :** c'est une méthode qui n'est pas efficace pour de grandes

structures de réseaux à cause de la surcharge d'annonces engendrées par le changement des CHs, et qui réduit le gain d'énergie initial.

✓ **La sécurisation** : le protocole LEACH n'est pas sécurisé. Aucun mécanisme de sécurité n'est intégré dans ce protocole. Ainsi, il est très vulnérable même aux simples attaques. Donc, un attaquant peut facilement monopoliser le réseau et induit à son dysfonctionnement.

Cependant, bien que LEACH puisse augmenter la durée de vie du réseau, il présente certaines limitations. LEACH suppose que tous les nœuds puissent transmettre des données avec une grande puissance pour atteindre la station de base et que chaque nœud a une puissance de calcul lui permettant de supporter différentes couches MAC. Par conséquent, LEACH ne convient pas aux réseaux déployés dans de vastes régions. En outre, LEACH choisit aléatoirement la liste des clusters heads et il ne pose aucune contrainte sur leur distribution ainsi que sur leur niveau d'énergie. Ainsi, les cluster heads peuvent se concentrer dans un même endroit et par conséquent, il pourrait exister des nœuds isolés (sans cluster head) pouvant se déclarer. D'autre part, dans LEACH, l'agrégation des données est centralisée et est exécutée périodiquement. Or, dans certains cas, la transmission périodique des données pourrait ne pas être nécessaire, ce qui épuise rapidement l'énergie limitée des capteurs [36].

#### 4. Fonctionnement du protocole

L'idée de base de notre protocole proposé est de faire combiner le routage hiérarchique avec la méthode d'accès au media 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 media CDMA, tous les nœuds peuvent émettre leurs paquets immédiatement sans attendre que le media de transmission soit libre.

LEACH s'exécute sur deux phases : la phase de formation des clusters et la phase d'acheminement des paquets de données. Dans la première phase, un ensemble de cluster est formé à partir des nœuds du réseau dont un nœud est sélectionné comme cluster Head CH dans chaque cluster. Tandis que la deuxième phase sert à acheminer les paquets vers la station de base à travers les clusters Head.

#### 4.1 Phase de formation des clusters :

Elle est divisée en deux phases.

- **La phase d'annonce :**

Cette phase commence par l'annonce du nouveau round par le noeud puits pour sélectionner les CHs, chaque noeud génère une valeur aléatoire entre 0 et 1, si cette valeur est inférieure un à seuil calculé selon l'équation  $P_i(t)$ , le noeud se déclare CH pour le courant Round [37]

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * \left(r \bmod \frac{N}{P}\right)} & \text{si } (n \in G) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**P** : représente le pourcentage désiré de CHs [5% à 15%].

**N** : est le nombre total de noeuds dans le réseau.

**r**: le numéro du round courant.

**G** : est l'ensemble des noeuds qui ne sont pas des cluster-heads dans le dernier  $1/P$  round.

**n** : une valeur aléatoire comprise dans l'intervalle  $[0,1]$  attribuée à un noeud. Si cette dernière est inférieure à un seuil  $P_i(t)$ , le noeud se déclare CH.

En utilisant cette technique pour les noeuds qui ne sont pas des cluster-heads durant le  $1/P$  round ( $1/P$  round = 1 cycle).

- **La phase de création de groupes :**

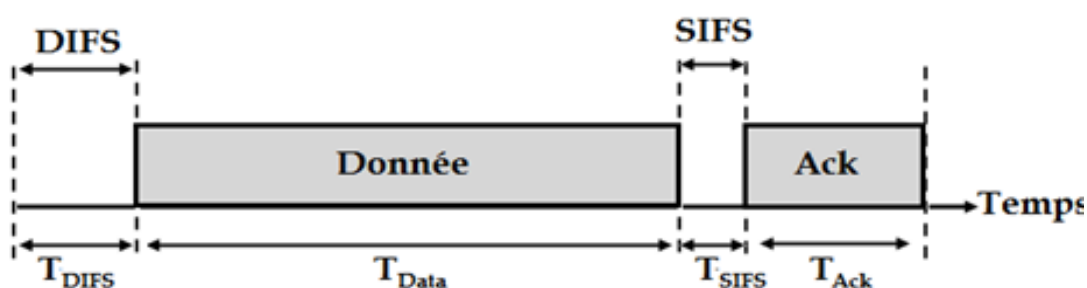
Dans cette phase le cluster-head diffuse un message d'avertissement (ADV) contenant son identificateur à tous les nœuds voisins non-CH, puis chaque nœud décide à son tour quel cluster rejoindre. La décision est basée sur l'amplitude du signal reçu, le CH ayant le signal le plus fort (le plus proche) sera choisi.

#### 4.2 Phase d'acheminement des paquets :

Dans cette étape, chaque nœud utilise son propre code CDMA (*Chip sequence*) 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 initialement vers le cluster Head. Ensuite le cluster Head envoie le paquet directement dans le prochain cycle d'envoi vers la SB.

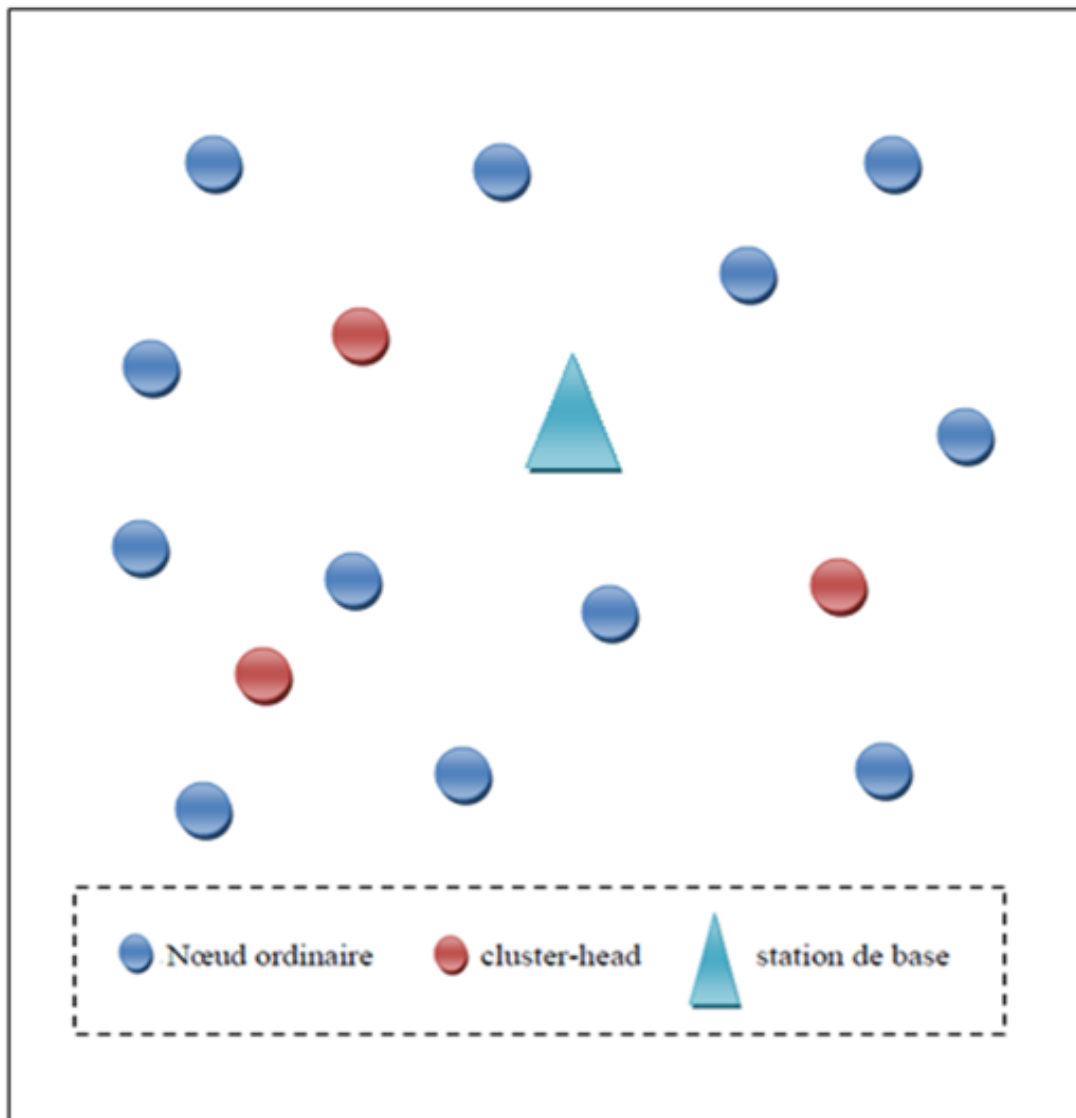


*Figure 4.2. Cycle de transmission de notre protocole.*

## 5. Exemple Leach avec CDMA :

### 1ere étape : Élection les clusters Head

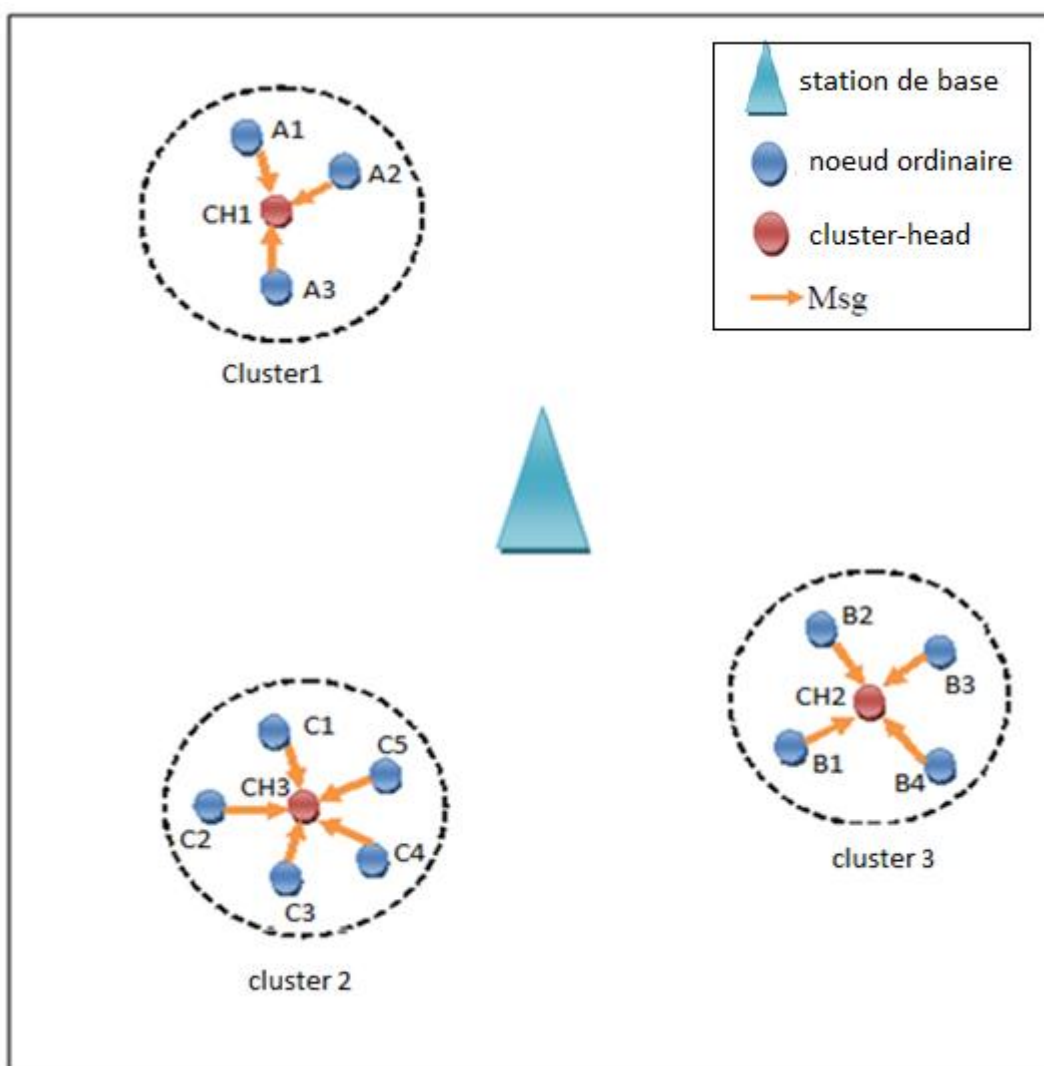
La station de base initie la phase d'élection des clusters ainsi que les clusters Head CH. Dans la figure suivante, on les clusters Head sont marqués en rouge. Les autres nœuds sont marqués en bleu.



*Figure4.3 : élection du cluster Head*

**2eme étape : Création les clusters**

Après l'étape d'élection des clusters Head, cluster-Head diffuse un message d'avertissement (ADV) contenant son identificateur à tous les nœuds voisins non-CH. Les nœuds qui ne sont pas des clusters Heads, choisissent leurs clusters Head pour former les clusters. Dans la figure suivante les membres de chaque cluster sont marqués en bleu regroupés au sein des clusters.



*Figure4.4 : création des clusters*

3<sup>em</sup> étape : phase d'acheminement des données

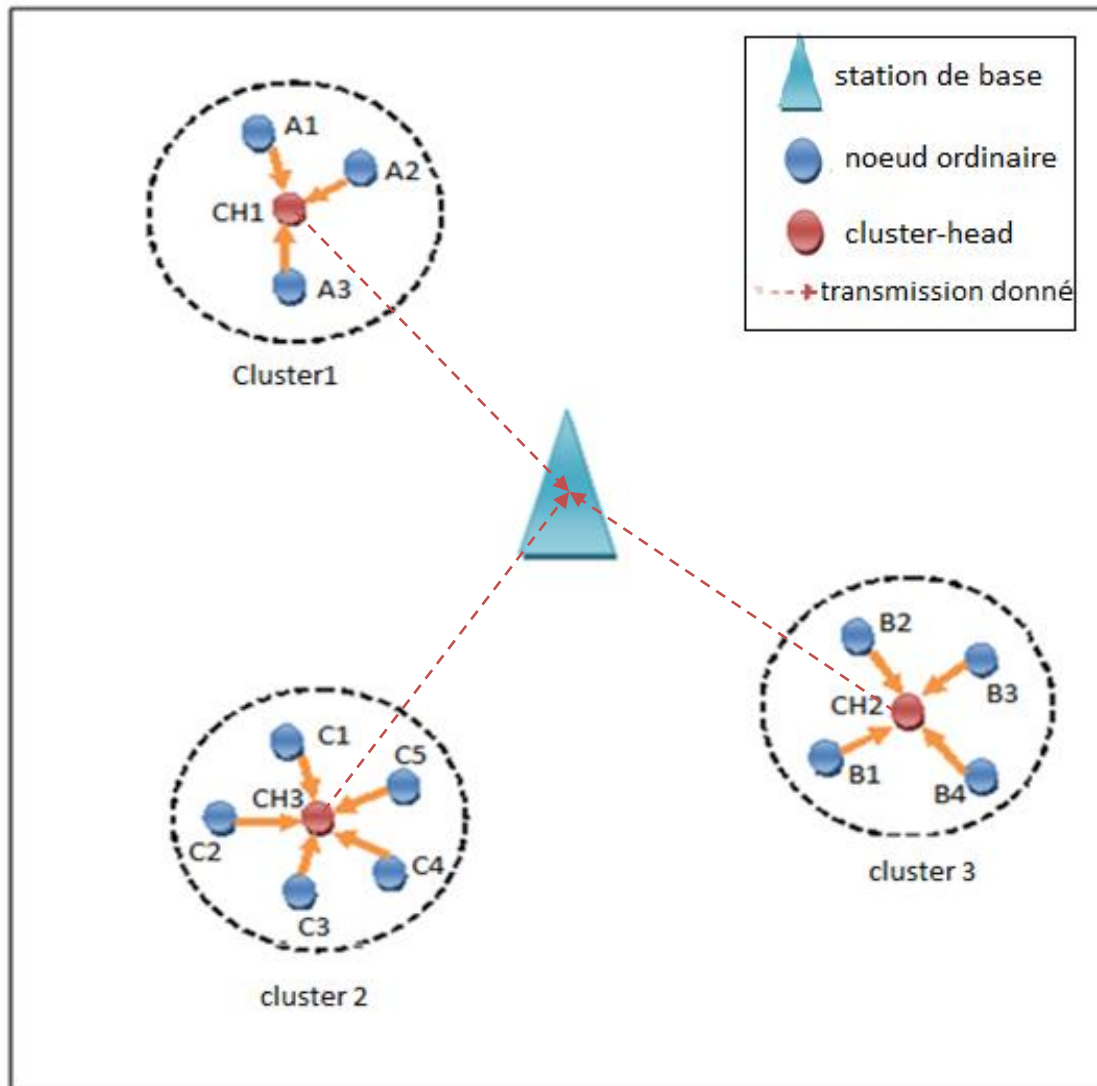


Figure4.5 : Transmission les donnée

Dans cette étape (étape d'acheminement de données), les nœuds d'un même cluster transmettent leurs données en parallèle vers le cluster Head. Prenons l'exemple de la figure ci-dessous :

Dans le premier cycle d'envoi, les nœuds A1. A2 .A3 transmettent en parallèle leurs données vers le CH1 a l'intérieure du cluster 1. De même, les nœuds B1. B2 .B3 .B4 transmettent en parallèle leurs données vers le CH2 a l'intérieure du cluster 2. Aussi, les

nœuds C1. C2 .C3 .C4 .C5 transmettent en parallèle leurs données vers le CH3 en parallèle a l'intérieure de cluster 3.

Après la réception des données par les trois clusters Head, ces derniers transmettent leurs données en parallèle vers la station de base comme indiqué dans l figure. Les transmissions simultanées provoquent des collisions, mais grâce à la techniques CDMA le récepteur, que ce soit le CH ou la station de base parviennent à récupérer les données envoyées par chaque nœud.

## **6. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre protocole proposé. Notre solution consiste à combiner de protocole LEACH qui organise le réseau en clusters avec la méthode d'accès au media CDMA, nous avons présenté dans un premier temps le fonctionnement du protocole LEACH. Ensuite, nous avons présenté et modéliser notre solution. Nous avons terminé le chapitre avec un exemple qui illustre le fonctionnement de notre solution proposée.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier les performances de notre solution à travers une étude expérimentale tout en présentant et en discutant les résultats de la simulation.

***CHAPITRE IV :***  

---

***SIMULATION***

## 1. Introduction :

L'étude expérimentale est une étape primordiale pour étudier et évaluer les performances d'une nouvelle approche. Pour évaluer les performances de notre solution, nous avons implémenté et simulé son fonctionnement avec le langage JAVA. Dans ce chapitre, nous allons présenter dans un premier temps le langage JAVA. Ensuite, nous allons présenter et discuter les résultats obtenus. Les résultats obtenus seront comparés avec ceux obtenus en exécutant le protocole LEACH avec TDMA.

## 2. Les choix techniques :

Dans notre projet, on utilise les outils suivants :

- système d'exploitation : Windows 10 professionnel.
- Processeur : Intel (R) Core (TM) i3-3217U CPU @ 1.80 GHZ.
- Mémoire installée : 4.00 GO.
- Type du système : système d'exploitation 64bit, processeur x64.
- Langage de programmation : java.
- Environnement de développement : eclipse IDE.

## 3. Description des outils utilisés :

### 3.1 Langage java :



*Figure5.1 : logo de java*

Java est un langage de programmation orienté objet créé par James Gosling et Patrick Naughton, employés de Sun Microsystems, avec le soutien de Bill Joy (le cofondateur de Sun Micro system en 1982), présenté officiellement le 23 mai 1995 au Sun World. La société Sun a été ensuite rachetée en 2009 par la société Oracle qui détient et maintient désormais Java. Il est caractérisé par sa mobilité, multiplateformes mais aussi la richesse de sa bibliothèque en fonctionnalités dans divers domaines [38].

### 3.1.1 Caractéristiques du langage java :

- **Simple** : C'est un langage simple à prendre en main. Basé sur le langage C/C++ mais Laisse de côté les sources de problèmes (pointeurs, structures, gestion de la mémoire, héritage Multiple, macros etc.).
- **Orienté objet** : , Java est orienté objet. Chaque fichier source contient la définition d'une Ou plusieurs classes qui sont utilisées les unes avec les autres pour former une application. Java n'est pas complètement objet car il définit des types primitifs (entier, caractère, flottant, Booléen,...).
- **Distribué** : Propose une API réseau standard. Cette dernière permet de manipuler, par exemple, les protocoles HTTP & FTP avec aisance. Des API pour la communication entre des objets distribués (RemoteMethod Invocation).
- **Interprété** : Un code source doit être traduit dans le langage machine avant d'être exécuté.
- **fortement typé** : toutes les variables sont typées et il n'existe pas de conversion automatique qui risquerait une perte de données. Si une telle conversion doit être réalisée, le développeur doit obligatoirement utiliser un caste ou une méthode statique fournie en standard pour la réaliser.
- **Econome** : le pseudo code a une taille relativement petite car les bibliothèques de classes requises ne sont liées qu'à l'exécution.
- **Multitâche** : il permet l'utilisation de threads qui sont des unités d'exécutions isolées. La JVM, elle même, utilise plusieurs threads.

## 4. Environnement de développement :

### 4.1 Eclipse IDE :



*Figure 5.2 : logo de eclipse*

Est un IDE (Integrated Développement Environnement ou EDI environnement de développement intégré en français), c'est-à-dire un logiciel qui simplifie la programmation en proposant un certain nombre de raccourcis et d'aides à la programmation. Il est développé par IBM. Il est gratuit et disponible pour la plupart des systèmes d'exploitation [39].

#### 4.1.1 Caractéristiques d'environnement de développement eclipse :

- Editeur évolué et spécialisé
- Compilation incrémentale
- Tests unitaires
- Débuggeurs de code Java

## 5. Configuration des paramètres de simulation :

Les paramètres de notre simulation sont résumés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Nombre des nœuds	Variable
La taille du réseau (m*m)	450 * 280
La position de BS	230 * 115
le rang de transmission (m)	80
Le nombre de cluster	Variable

*Tableau 3.1 : les différents paramètres de simulation*

## 6. Les interfaces de notre application :

### 6.1 Interface d'accueil :

La figure 5.3 montre l'interface d'accueil de notre simulation elle possède la liste combobox pour sélectionner le nombre de nœuds utilisés par l'utilisateur 20, 30, 40, 50, 60 , et le bouton « Créer le réseau » permet la création du réseau, « Election C\_Head » pour l'élection des cluster Head, le bouton « Création des clusters » permet d'apercevoir la formation des cluster, le bouton « démarrer transmission » pour montrer comment les paquets des données sont transférées, une fois entre le nœud et son cluster Head et d'autre fois entre le cluster Head et la station de base, et le dernier bouton « Reset » pour réinitialiser tous les éléments de l'interface.

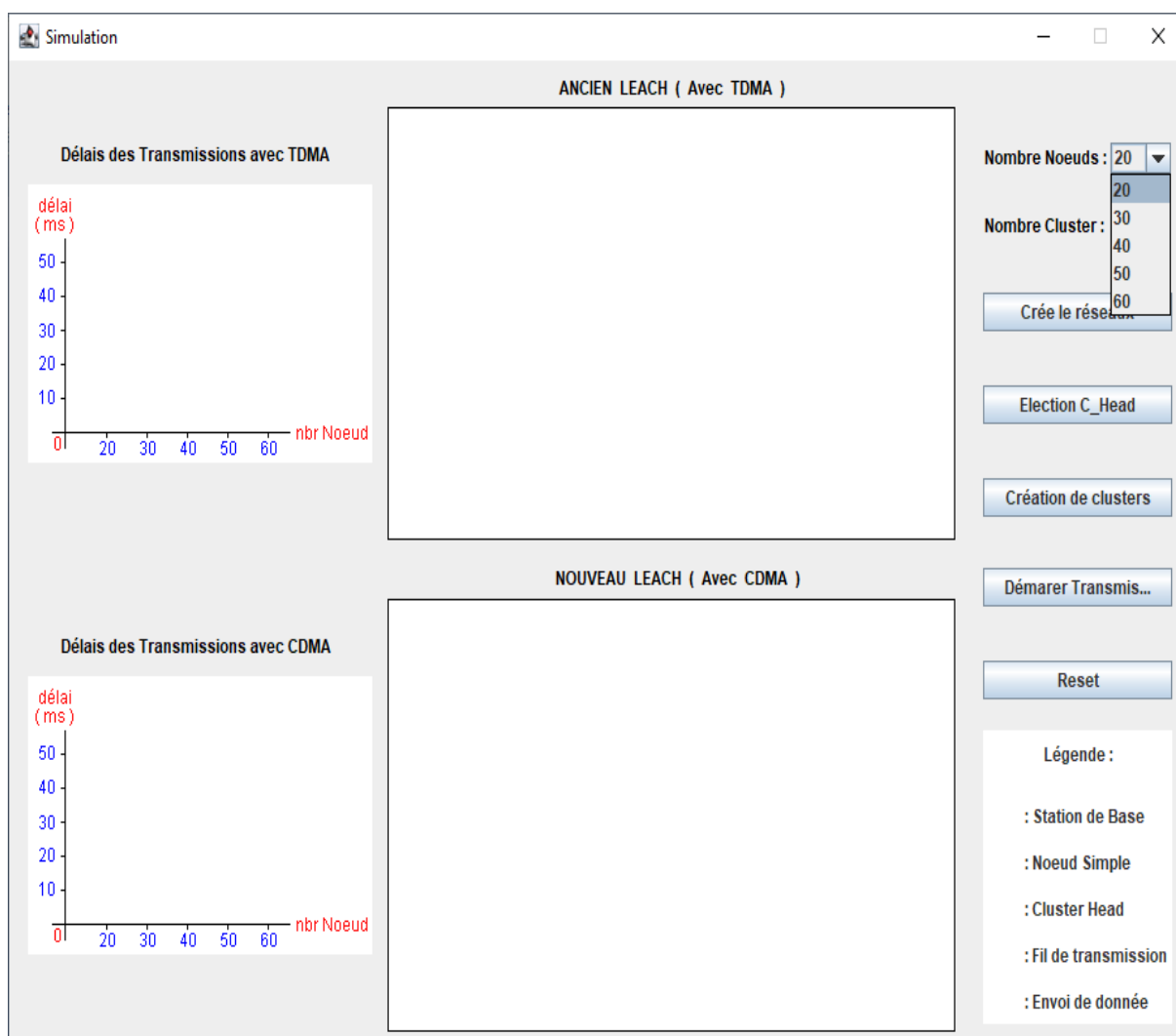


Figure 5.3 : L'interface d'accueil

### 6.1.1 Le choix de nombre de nœud :

Avant de commencer la simulation, il faut choisir le nombre de nœuds dans le réseaux en utilisant la liste qui contient le nombre de nœuds, à partir de ce nombre, le nombre des cluster du réseaux est affiché automatiquement, si ce dernier est inférieur ou égale 30 il s'affiche 4, sinon s'affiche 5, aussi la station de base est installée au centre du réseaux avec une position statique coloré en jaune.

### 6.2 Création le réseau :

Pour commencer la simulation, il suffit de cliquer sur le bouton « Créer le réseau », une fois que l'on clique, les nœuds sont déployés selon le nombre choisi avec des positions aléatoires colorées en bleu. La figure 5.4 donne l'exemple d'un réseau.

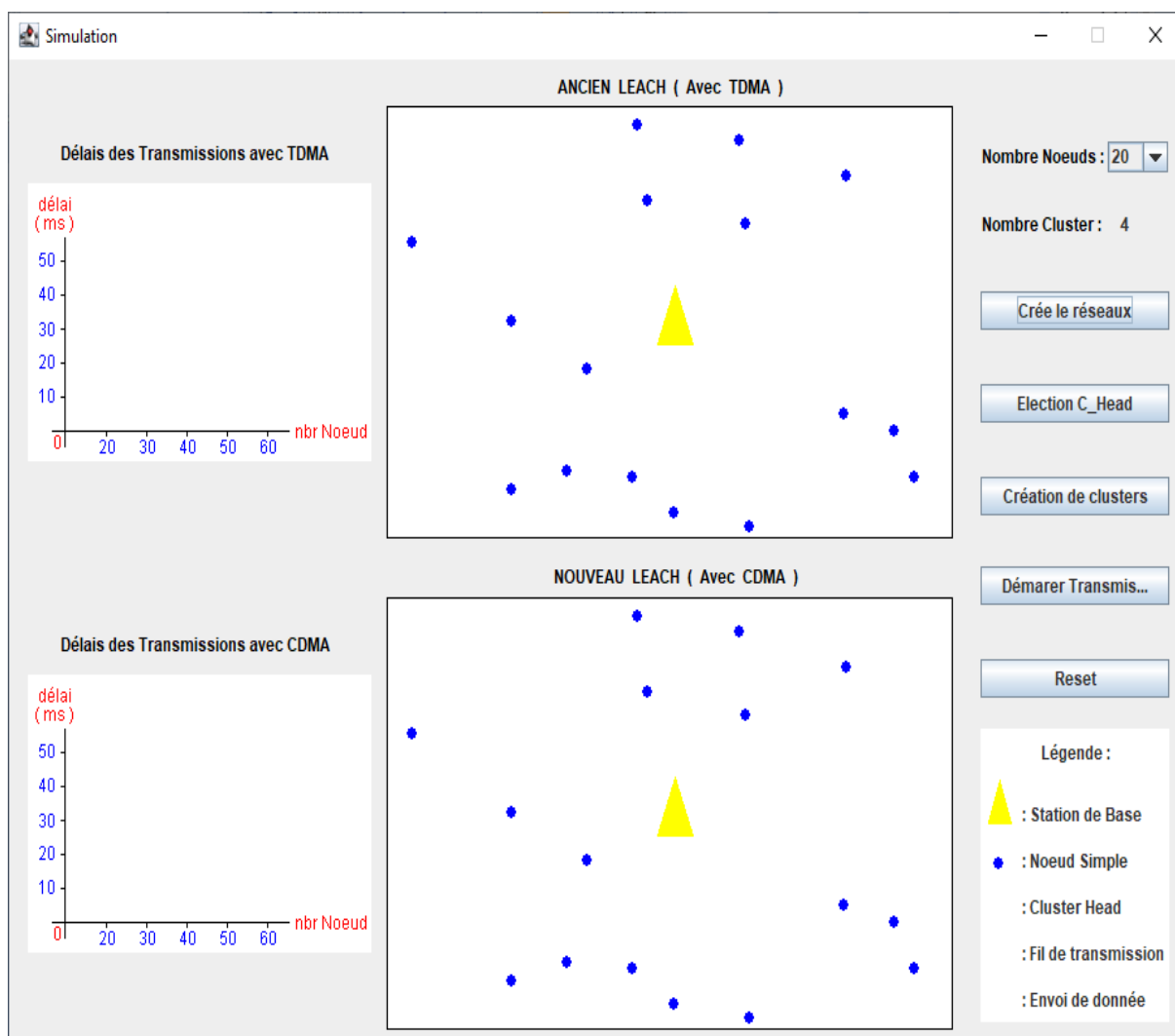


Figure 5.4 : L'interface de création le réseau

### 6.3 Election des clusters Head

Après la création du réseau et dès qu'on clique sur le bouton « Election C\_Head », les cluster-Heads seront installés dans le réseau avec des positions statiques colorées en rouge. La figure 5.5 montre l'élection des CH :

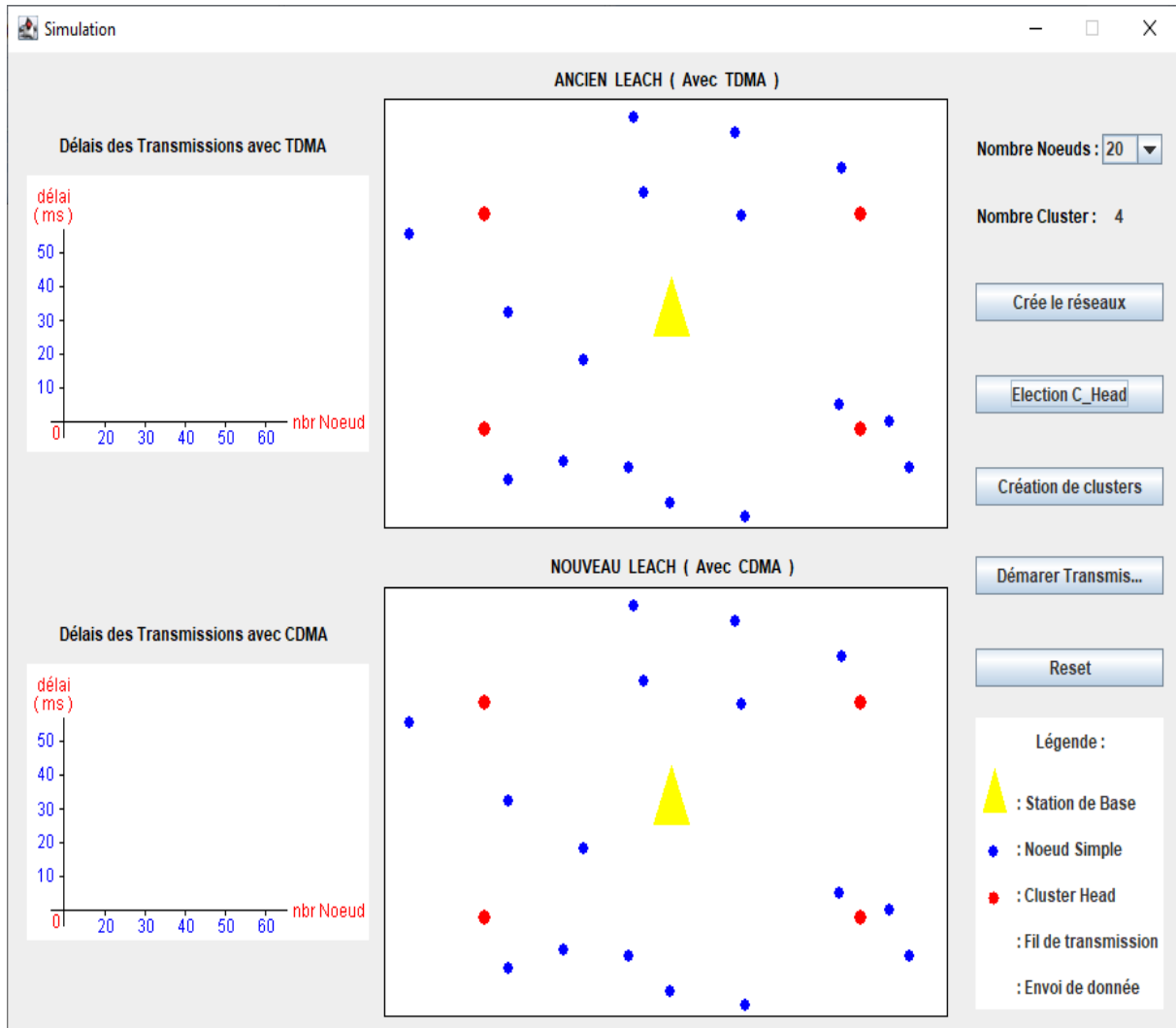


Figure 5.5 : L'interface d'élection les clusters Head

6.4 Création des clusters

Pour créer les clusters, une fois qu'on clique sur le bouton « Création de clusters », chaque nœud sera lié au cluster Head le plus proche de lui avec une ligne bleu entre eux, cette procédure finalement forme des clusters. Après, des lignes se forment en rouge entre cluster Head et la station de base comme des liaisons de transmission. La figure 5.6 montre la création des clusters.

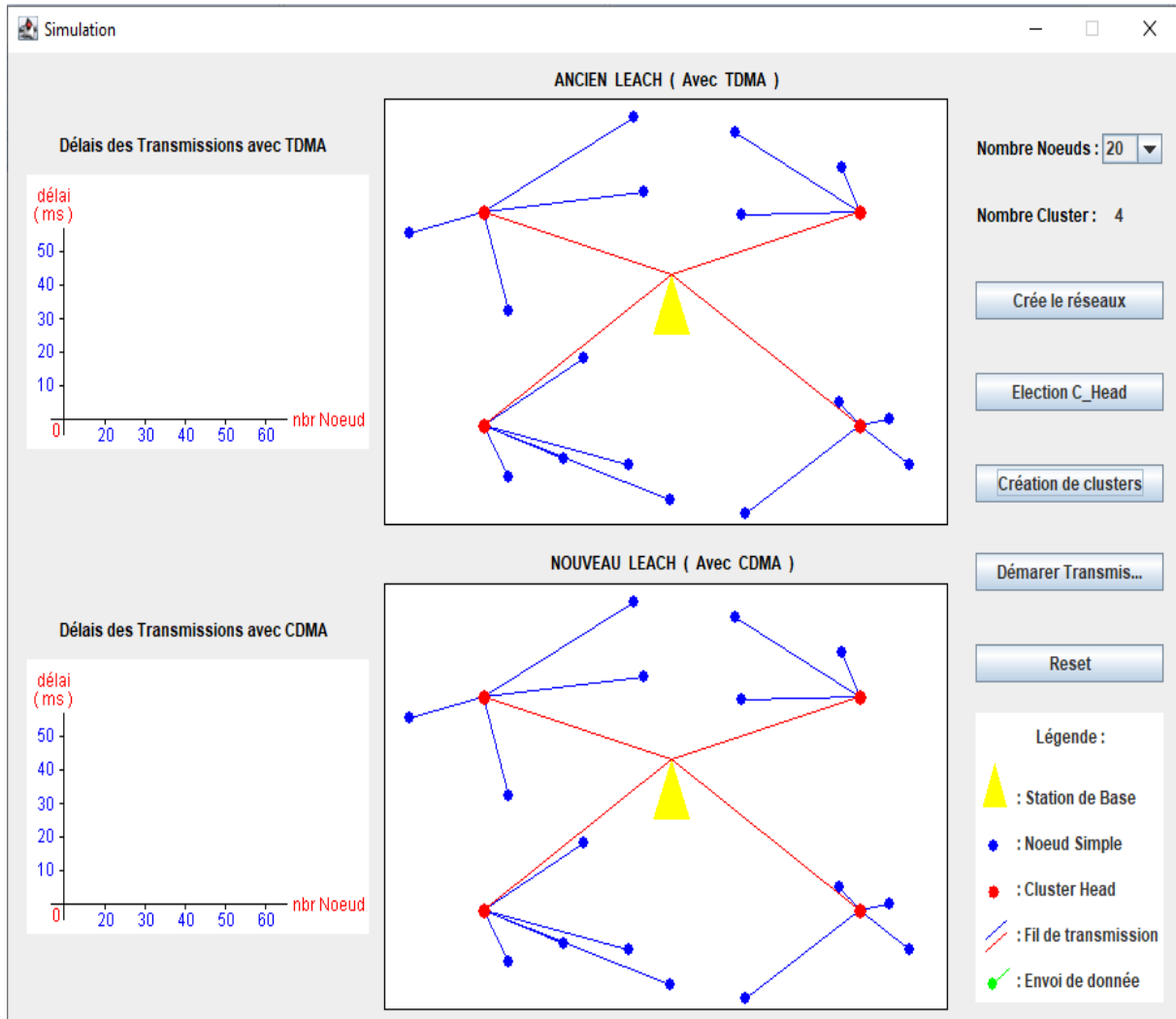
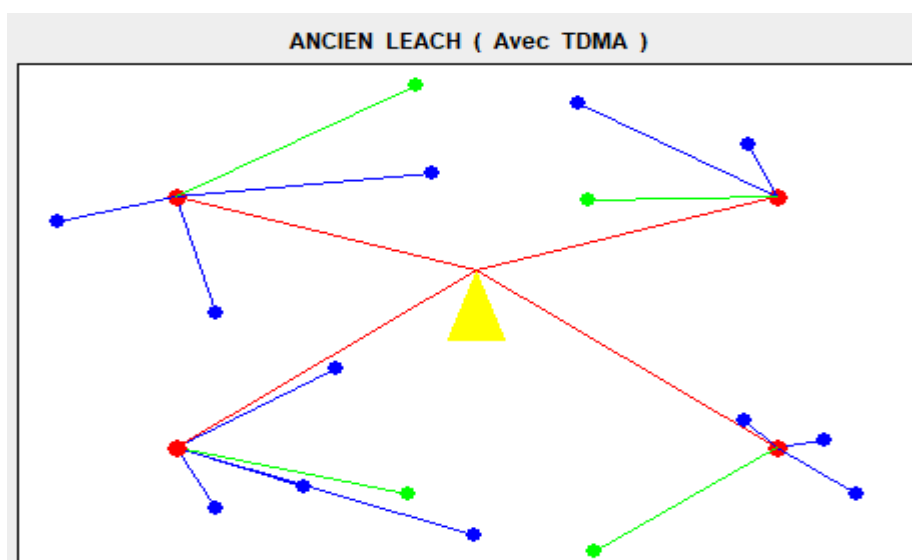


Figure 5.6 : L'interface de création clusters

## 6.5 Interface de transmission de donnée

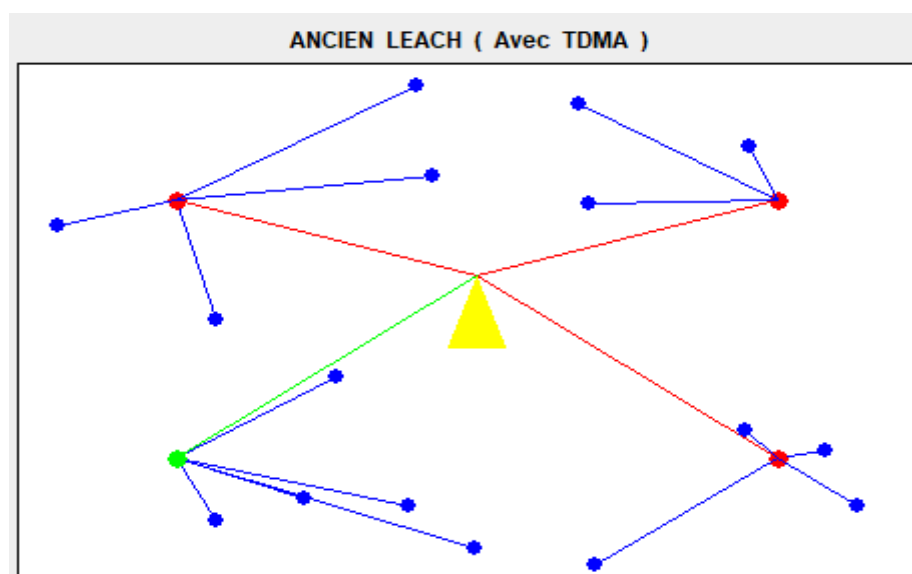
### 6.5.1 Leach avec TDMA

Dans chaque cluster l'étape de transmission des données s'effectue de façon séquentielle c - à - d, chaque nœud a son intervalle de temps pour envoyer ses paquets vers son cluster Head. Ces transmissions sont marquées en vert dans la figure suivante.



*Figure 5.7 : transmission les données vers les CH*

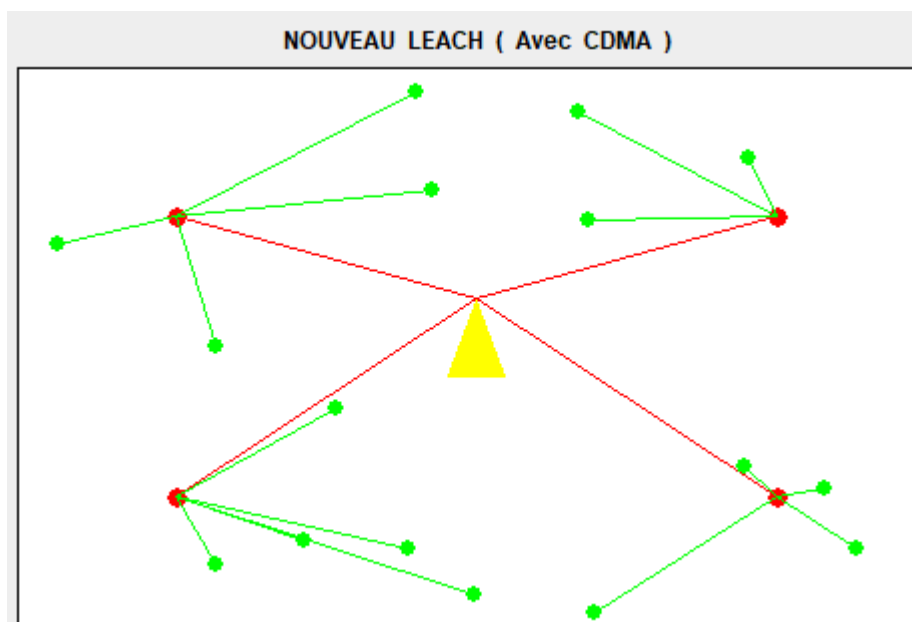
Après, la retransmission des paquets s'effectue de façon séquentielle c - à - d, chaque cluster Head envoie les paquets reçus à partir de ses nœuds membres vers la station de base. Ces transmissions sont marquées en vert dans la figure suivante.



*Figure 5.8 : transmission les données vers le SB*

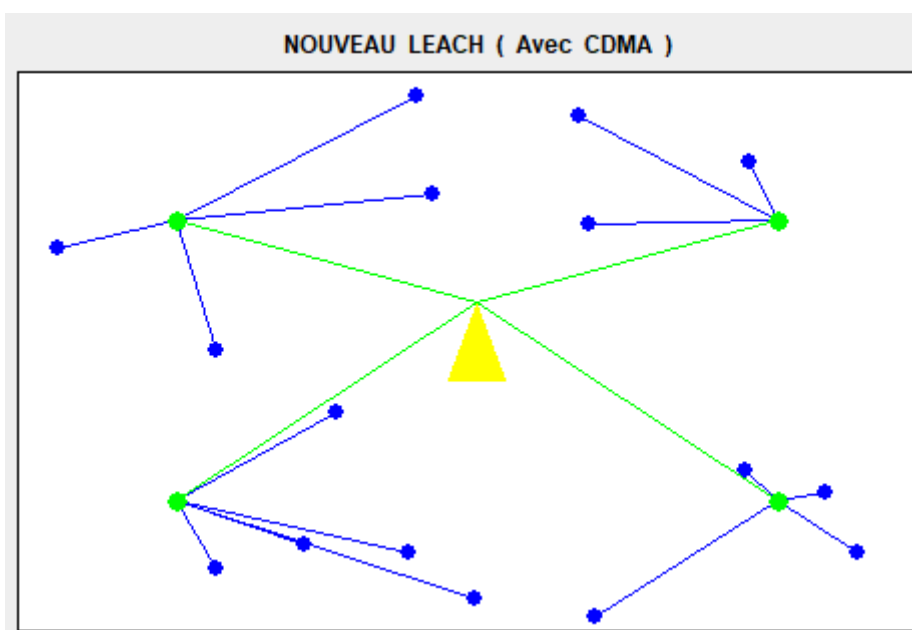
### 6.5.2 Leach avec CDMA

Dans l'étape de transmission des données, tous les nœuds membres d'un même cluster transmettent leurs paquets en parallèle vers le cluster Head. Ces transmissions sont marquées en vert dans la figure suivante.



*Figure 5.9 : transmission les données vers les CH*

Après la réception des paquets par les clusters Head, ces derniers transmettent en parallèle vers la station de base. Ces transmissions sont marquées en vert dans la figure suivante.



*Figure 6.1 : transmission les données vers le SB*

## 6.6 Graphe de délai

### 6.6.1 Délai avec TDMA

On remarque que les délais de transmission est long, parce que les transmissions dans chaque cluster s'effectuent de façon séquentielle c.-à-d., chaque nœud a son intervalle de temps pour envoyer ses paquets, ce qui augmente les délais de transmission de bout en bout. Cette augmentation est causée par le fait que chaque nœud doit attendre la libération du support de transmission pour pouvoir envoyer ses données.

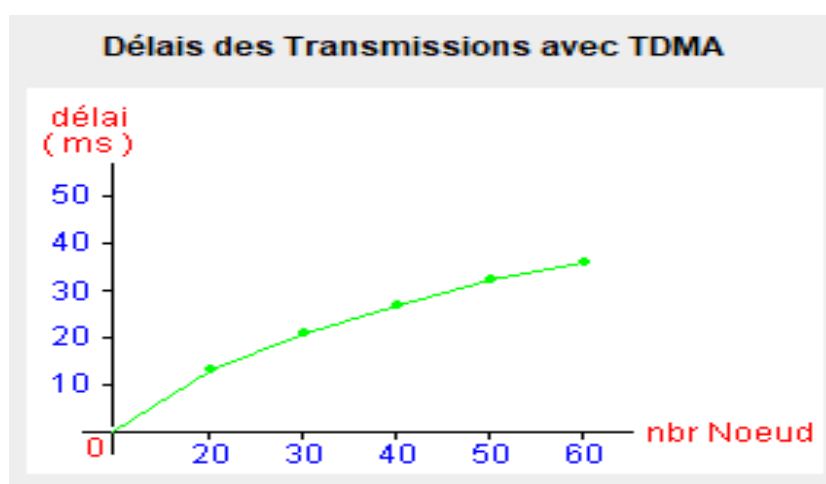


Figure 6.2 : le délai avec TDMA

### 6.6.2 Délai avec CDMA

On remarque que le délai de transmission est court, puisque tous les nœuds peuvent envoyer leurs paquets en parallèle. Cette transmission parallèle permet de réduire le délai de transmission global.

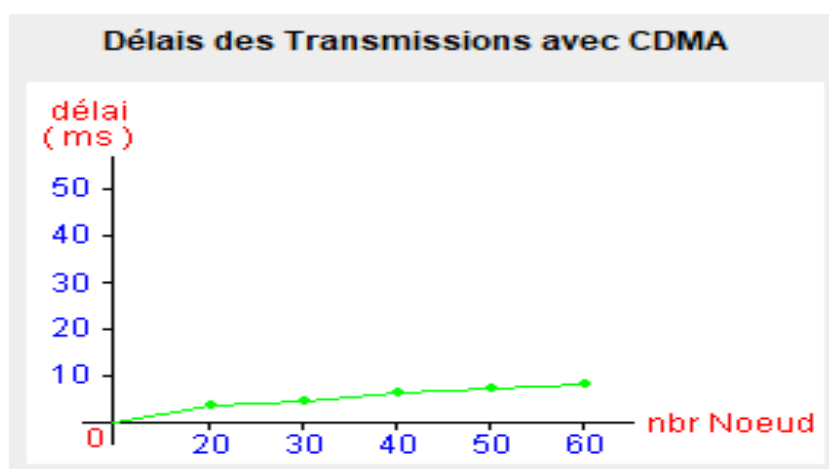


Figure 6.3 : le délai avec CDMA

## 7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'étude expérimentale de notre protocole de routage proposé pour les réseaux de capteurs sans fil. Le protocole proposé est un protocole de routage hiérarchique LEACH avec la méthode d'accès au média CDMA dont le but principal est de réduire le délai de transmission. Ainsi, ce chapitre a été consacré à montrer quelques interfaces de notre application pour visualiser et expliquer au mieux le mode de fonctionnement de notre protocole et à présenter les résultats de simulation en les comparant avec le protocole de routage LEACH utilisé avec la technique TDMA. Les résultats de la simulation ont montré que l'adaptation du protocole de routage LEACH avec la méthode d'accès au média CDMA permet de réduire le délai de transmission des paquets entre les nœuds sources et la station de base.

***CONCLUSION***  
***GÉNÉRALE***

## **Conclusion générale**

Dans ce mémoire de fin d'étude, nous avons abordé un domaine très intéressant ; les réseaux de capteur sans fil (RCSF). Et plus particulièrement les protocoles de routage hiérarchique. L'un des problèmes major rencontré pendant le routage des paquets dans ces réseaux consiste à minimiser le délai d'acheminement qui représente un facteur fondamental pour la performance d'un protocole de routage. La gestion optimale de ce facteur nécessite la prise en compte d'un grand nombre de paramètres tels que le nombre de bits transmise ou reçus à chaque transaction, les distances par lesquelles ces données transitent,... Plusieurs protocoles ont été conçus et mis en œuvre et l'un des plus importants d'entre eux est le protocole de routage LEACH.

Ce mémoire a débuté par une étude générale sur les réseaux de capteurs sans fil pour passer en second lieu aux méthodes d'accès au média et au routage dans les RCSF et ses différentes classifications. Par la suite, nous avons présenté en détaille le fonctionnement de la solution proposée à savoir l'adaptation du protocole LEACH avec la méthode d'accès au media CDMA. Le mémoire se termine par une étude expérimentale pour évaluer les performances de la solution proposée. Les résultats de la simulation ont été comparés avec la méthode d'accès au media TDMA.

L'objectif de la combinaison du protocole LEACH avec la méthode d'accès au CDMA est de minimiser le délai de transmission, En effet, avec la méthode d'accès au média CDMA, tous les nœuds peuvent transmettre leurs paquets en parallèle. Cette transmission parallèle permet de minimiser le délai de transmission global. Les résultats de la simulation que nous avons effectuée via un simulateur, que nous avons implémenté, nous ont permis de constater que la solution proposée permet d'optimiser le délai de transmission des paquets entre les nœuds sources et la station de base.

Enfin nous espérons que notre travail soit d'une valeur scientifique pour les prochains travaux de recherche dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil et nous espérons aussi qu'il soit une initiation à la recherche pour les promotions à venir.

# BIBLIOGRAPHIE ET WEB GRAPHIE

- [1] Mehdi Bouallegue. Protocoles de communication et optimisation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. Réseaux et télécommunications [cs.NI]. Université du Maine, 2016. Français.
- [2] Diane, I. (2014). *Optimisation de la consommation d'énergie par la prise en compte de la redondance de mesure dans les réseaux de capteurs* (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).
- [3] Charif, M. et Benyagoub, A. (2013). *Sécurisation du protocole de routage hiérarchique LEACH dans les réseaux de capteurs sans fil*. Mémoire de Master. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen.
- [4] Séverine Sentilles « Architecture logicielle pour capteurs sans-fil en réseau » Rapport de recherche, Université de Pau et des Pays de l'Adour, juin 2006
- [5] H. Zhang, H. Shen, "Balancing energy consumption to maximize network lifetime in data-gathering sensor networks," IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., vol. 20, no. 10, pp. 1526-1539, Oct. 2009.
- [6] C. Hua, T. P. Yum, "Optimal routing and data aggregation for maximizing lifetime of wireless sens
- [7] C. Perkins, "Ad Hoc Networks". Addison-Wesley, Reading, MA. 2000.
- [8] ROMER, Kay et MATTERN, Friedemann. The design space of wireless sensor networks. Wireless Communications, IEEE, 2004, vol. 11, no 6, p. 54-61.
- [9] SINGH, Shio Kumar, SINGH, M. P., et SINGH, D. K. Applications, Classifications, and Selections of Energy-Efficient Routing Protocols for Wireless Sensor Networks. International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies, 2010.
- [10] KARL, Holger et WILLIG, Andreas. Protocols and architectures for wireless sensor networks. John Wiley & Sons, 2007.
- [11] <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/Bunel/Presentation.html>
- [12] F. Hu, N. K. Sharma, Security considerations in ad hoc sensor networks", 2005
- [13] D. Boyle, T. Newe, Securing Wireless Sensor Networks: Security Architectures, JOURNAL OF NETWORKS, 2008.

[14] AKYILDIZ, Ian F., SU, Weilian, SANKARASUBRAMANIAM, Yogesh, et al. A survey on sensor networks. *Communications magazine, IEEE*, 2002, vol. 40, no 8, p. 102-114.

[15] I.Rhee, A.Warrier, J.Min, L.X.Drand, 'distributed Randomized TDMA scheduling for wireless ad-hoc networks', *MobiHoc conference*, May 22-25, Florence Italy, 2006.

[16] S.Mukherejee, G.P.Biswas, 'Design of hybrid MAC protocol for wireless sensor network, Recent advances in information technology', *Advances in intelligent systems and computing* 266, 10.1007/978-81-322-1856-2, springer india 2014

[17] S.De, C.Qiao, A.Pados, M.Chatterjee, S.J.Philip, 'An integrated cross-layer study of wireless CDMA sensor networks', *IEEE journal on selected areas in communications*, vol.22.No.7, September 2004.

[18] <https://fr.acervolima.com/avantages-et-inconvenients-du-cdma>

[19] <https://www.ionos.fr/digitalguide/serveur/know-how/csmaca-carrier-sense-multiple-access-with-collision-avoidance/>

[20] <http://www.isa.org/>

[21] H. Zhang, H. Shen, "Balancing energy consumption to maximize network lifetime in data-gathering sensor networks," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 20, no. 10, pp. 1526-1539, Oct. 2009.

[22] J. N. AI-Karaki, A E. Kamal. , " Routing techniques in wireless sensor networks: A survey." *IEEE Wireless Communications Magazine*, 11(6):6- 28, Dec. 2004.

[23] W. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks", *5th ACM/IEEE Mobicom*, Seattle, WA. pp. 174–85. 1999..

[24] Challal, Y. (2008). Réseaux de capteurs sans fil. Cours. Systèmes Intelligents pour le Transport. Université de Technologie de Compiègne, France.

[25] M. Ali, S. K. Ravula, "Real-time support and energy efficiency in wireless sensor networks", *Technical report, IDE0805*. January 2008.

[26] S. Lindsey, C. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems", *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*. Vol. 3. pp. 1125-1130. Big Sky, MT, USA. March 2002.

[27] S. Lindsey, C.S. Raghavendra, K. Sivalingam, "Data gathering in sensor networks using the energy delay metric", In *Proceedings of the IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*. April 2001.

[28] A. Manjeshwar, D. P. Agrawal, "TEEN : A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks". 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA. April 2001.

[29] A. Manjeshwar, D. P. Agrawal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks", In the Proceedings of the 2nd International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile computing. Ft. Lauderdale, FL. April 2002.

[30] Luis Javier García VILLALBA, Ana Lucila Sandoval OROZCO, Alicia Triviño CABRERA, Cláudia Jacy Barenco ABBAS, «Routing Protocols in Wireless Sensor Networks», Sensors 2009, 9, 8399-8421, ISSN 1424-8220, 2009.

[31] Ian F. AKYILDIZ, Mehmet Can VURAN, «Wireless Sensor Networks», John Wiley & Sons Ltd, 2010. .

[32] Y. Yu, D. Estrin, R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks", UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023. May 2001.

[33] Benyagoub, A. (2013). *Sécurisation du protocole de routage hiérarchique LEACH dans les réseaux de capteurs sans fil*. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique. Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen.

[34] E.DHIB « Routage avec QoS temps réel dans les réseaux de Capteurs »Ingénieur en Télécommunications option : Ingénierie des réseaux, école supérieure de communication de Tunis,2006/2007 .

[35] Ramdani mohamed, A (2013). problème de sécurité dans les réseau capteur avec prise en charge de l'énergie. Mémoire de magistère . université de Saad dahleb de Blida

[36] hanneche amal, A (2020). Conception d'un nouveau protocole pour les réseaux de capteurs sans fils. Mémoire de master . université de L'arbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi

[37] Mourad, HADJILA. Protocole de routage économes en énergie ,page 40. 2014.

[38] JAVA; <http://fr.wikipedia.org/java/>

[39] <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=517>