

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane Mira – Béjaïa

Faculté des Sciences Exactes

Département d'Informatique

Option : Administration et Sécurité des Réseaux



Mémoire de fin de cycle pour l'obtention  
du diplôme Master en Informatique

**Thème :**

---

Conception et réalisation d'un protocole de routage pour  
les réseaux de capteurs sans fil.

---

**Réaliser par :**

M. BOUDAA Okba

**Soutenu devant le jury composé de :**

Président : M. AISSANI Sofiane

Promoteur : M. MIR Foudil.

Examineur : M. AKILAL Abdellah

## Remerciement :

*Avant toute chose nous remercions le bon Dieu, le tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail. C'est avec un grand plaisir que, nous adressons nos sincères remerciements à l'égard de mon encadreur, Monsieur MIR Foudil pour ses conseils, ses remarques, ses aides et qui n'a ménagé aucun effort pour la bonne réussite de ce travail.*

*Nous aimerons exprimer nos gratitude et nos sincères remerciements à tous les membres du jury qui ont bien accepté de juger ce travail malgré les charges qu'ils les préoccupent.*

*Nous aimerons exprimer aussi à toute l'équipe pédagogique et administrative du master professionnel en Informatique spécialité :*

*Administration et sécurité des réseaux.*

*Nous ne terminerons pas sans avoir exprimé nos remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

# ***DEDICACES***

*Je dédie ce mémoire*

*À mes parents pour leurs confiances, leurs soutiens, leurs sacrifices  
et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculper.*

*À mon frère et mes deux sœurs, et je leur souhaite une bonne  
réussite.*

*À mes grands-mères et mes grands-pères en espérant que Dieu  
leurs prolongent la vie.*

*À mes tantes, mes oncles, sans oublier mes cousins de mes deux  
familles.*

*À tous mes amis d'enfance, mes collègues, mes camarades de la  
promotion à l'université de Boumerdès, Alger et Béjaïa.*

**Okba BOUDAA**

## Table des matières

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Les réseaux de capteurs sans fil</b>	
Introduction.....	2
1. Présentation physique d'un capteur sans fil.....	2
1.1. Unité de captage.....	2
1.2. Unité de traitement.....	3
1.3. Unité de communication.....	3
1.4. Unité d'énergie.....	3
2. Consommation d'énergie dans les RCSF.....	4
2.1. Energie de capture.....	4
2.2. Energie de traitement.....	4
2.3. Energie de communication.....	4
3. Architecture d'un réseau de capteur sans fil.....	4
4. Caractéristiques liées aux RCSFs.....	6
4.1. L'auto configuration des nœuds de capteur.....	6
4.2. La qualité de service (QoS).....	6
4.3. Les types de communications.....	7
4.4. L'absence de l'adressage fixe des nœuds.....	7
4.5. Le passage à l'échelle (Scalabilité).....	8
4.6. Type de réseau.....	8
4.7. Tolérance aux pannes.....	8
5. Domaine d'application.....	8
5.1. Domaine militaire.....	9
5.2. Domaine civil.....	9
5.3. Domaine de la surveillance de l'environnement et des habitats.....	9
5.4. Domaine médical.....	9
5.5. Domaine agricole et environnemental.....	10
Conclusion.....	10

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Architecture physique d'un capteur.....	3
<b>Figure 2</b> : Architecture d'un RCSF.....	6
<b>Figure 3</b> : La pile protocolaire de communication.....	12
<b>Figure 4</b> : Topologie plate.....	14
<b>Figure 5</b> : Topologie hiérarchique.....	15
<b>Figure 6</b> : les niveaux de grappes.....	25
<b>Figure 7</b> : la création des Clusters-Head et leurs clusters.....	26
<b>Figure 8</b> : La transmission des données.....	27
<b>Figure 9</b> : Organigramme de détermination des niveaux de grappes.....	28
<b>Figure 10</b> : Organigramme de création des CHs et leurs grappes.....	29
<b>Figure 11</b> : Organigramme de création des supers clusters-Head.....	30
<b>Figure 12</b> : Organigramme de transmission des données à la station de base.....	31
<b>Figure 13</b> : Nombre de nœuds vivants.....	34
<b>Figure 14</b> : Nombre de nœuds vivants.....	35
<b>Figure 15</b> : Le pourcentage des nœuds morts.....	37

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Les paramètres de la simulation.....	33
<b>Tableau 2</b> : Tableau comparatif des résultats de simulation.....	36

## Introduction générale

Les progrès réalisés lors de ces dernières décennies dans les domaines de la microélectronique, de la micromécanique, et des technologies de communication sans fil, ont permis de produire avec un coût raisonnable des composants de quelques millimètres cubes de volume. Ces derniers, appelés micro-capteurs, se composent d'une unité de captage chargée de capter des grandeurs physiques telle (chaleur, humidité, vibrations...) et de les transformer en grandeurs numériques, une unité de traitement informatique et de stockage de données, un module de transmission sans fil, et une ressource énergétique (généralement une batterie) pour alimenter tous ses composants.

Un réseau de capteur sans fil est constitué d'un grand nombre de ces dispositifs (micro-capteurs) sont dispersés sur une zone géographique vaste afin de collecter des informations sur des événements bien définis et de les acheminer vers un nœud particulier de traitement ou bien à une station de base. Ces avancées technologiques rendent possible le déploiement de ce réseaux. En effet, les domaines d'application sont très variés : applications militaires, surveillance industrielle ou de phénomènes naturels.

Cependant, un capteur est un équipement de taille très réduite, englobant des ressources très limitées en matière de mémoire, de calcul, d'espace de stockage des données, le débit de transmission et alimenté avec des batteries de faible puissance généralement irremplaçable. D'où l'énergie est la ressource la plus précieuse dans un réseau de capteurs, puisque elle influe directement sur la durée de vie des micros capteurs.

Notre mémoire se compose de quatre chapitres, d'où le chapitre I contient les généralités sur les RCSFs, le chapitre II parle sur le routage dans les RCSFs et les protocoles hiérarchiques et ses classifications, le chapitre III présente le protocole proposé et la description de son déroulement et dans le chapitre IV nous comparons les résultats de la simulation avec les deux protocoles LEACH et EEPSC. Enfin, nous terminerons avec une conclusion générale.

# **Chapitre I : Les réseaux de capteurs sans fil.**

## **Introduction**

Un réseau de capteurs peut être vu comme un réseau de micro-systèmes dispersés dans un espace donné et communiquant entre eux via une liaison sans fil. L'espace où agissent les capteurs s'appelle un champ de captage. Ce qui est intéressant dans les réseaux de capteurs, c'est que les nœuds sont souvent composés d'un grand nombre de micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome.

Par conséquent, on peut définir un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF) ou "Wireless Sensor Network" (WSN) comme un ensemble de dispositifs très petits, nommés nœuds capteurs, variant de quelques dizaines d'éléments à plusieurs milliers. Dans ces réseaux, chaque nœud est capable de surveiller son environnement et de réagir en cas de besoin en envoyant l'information collectée à un ou plusieurs points de collecte, à l'aide d'une connexion sans fil.

Il existe plusieurs types de protocoles de routage dans le réseau de capteurs sans fil. Ces protocoles de routage sont créés afin de permettre la prévention des collisions et l'économie d'énergie. Avant d'entrer dans l'étude détaillée des protocoles de réseau de capteurs sans fil, nous commençons par présenter un capteur sans fil, ses applications et son architecture. Ensuite nous expliquons les différentes contraintes dans un réseau de capteur et particulièrement la consommation d'énergie et les différentes sources causant la perte énergétique.

## **1. Présentation physique d'un capteur sans fil**

Un capteur est le dispositif qui transforme une grandeur physique environnementale (température, lumière, pression, etc.) observée en une grandeur utilisable et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base. Un capteur est composé de quatre unités de base :

### **1.1 Unité de captage**

La fonction principale de l'unité de captage est de capturer ou mesurer les données physiques. Elle est généralement composée de deux sous-unités qui sont les capteurs et les convertisseurs analogique-numérique. Les capteurs obtiennent des mesures sur les paramètres environnementaux et les transforment en signaux analogiques, puis elle les fournit au

convertisseur. Ce dernier convertisse ces signaux analogiques en signaux numériques et les transmet à l'unité de traitement. Un capteur peut avoir un ou plusieurs unités de captage.

### 1.2 Unité de traitement

Composée d'un processeur et d'une mémoire intégrant un système d'exploitation spécifique, Cette unité possède deux interfaces, une interface pour l'unit de captage et une interface pour l'unité de communication. Elle contrôle les procédures permettant au nœud de collaborer avec les autres nœuds pour réaliser les tâches d'acquisition et stocker les données collectées.

### 1.3 Unité de communication

Unité responsable de toutes les émissions et réceptions de données permettant la communication entre les différents nœuds du réseau via un support de communication radio.

### 1.4 Unité d'énergie

Un capteur est muni d'une source d'énergie qui est une batterie, elle alimente les unités que nous avons citées et elle n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs. -Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels comme le système de positionnement GPS (Global Positioning System), un mobilisateur lui permettant le déplacement et générateur d'énergie.

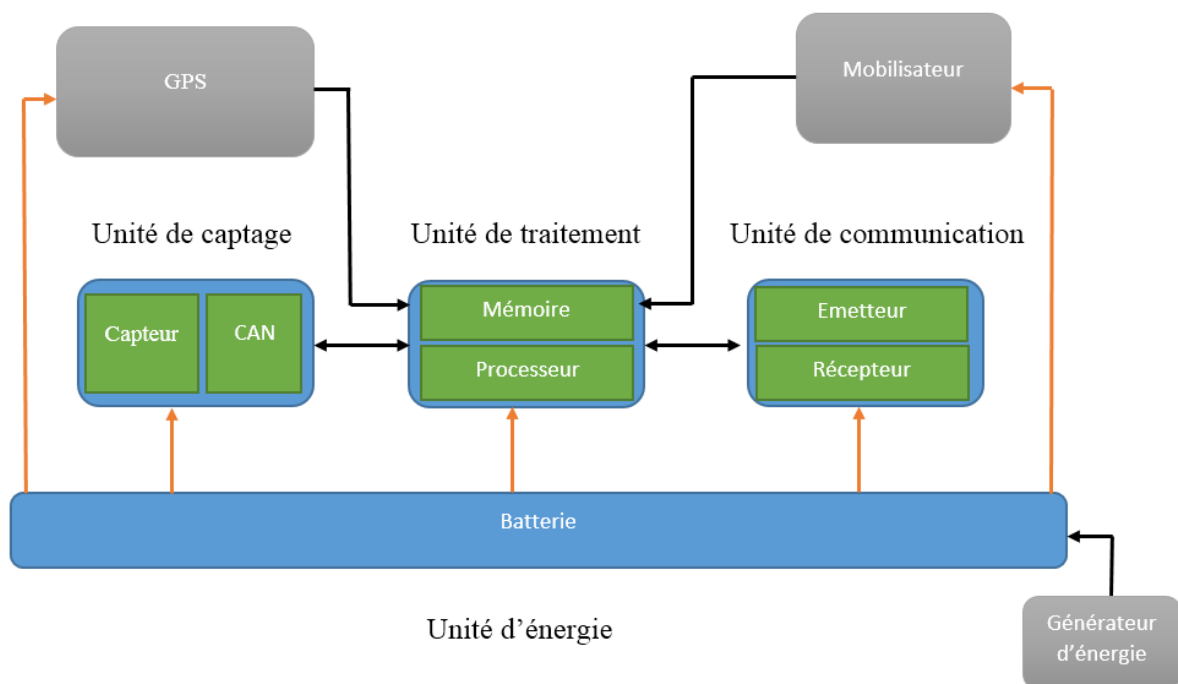


Figure 1 : Architecture physique d'un capteur [10].



## 2. Consommation d'énergie dans les RCSFs

Un capteur utilise son énergie pour réaliser trois actions principales : le captage, la communication et le traitement des données.

### 2.1 Energie de capture

Les sources de consommation d'énergie des nœuds pour les opérations de détection ou de capture sont : l'échantillonnage, la conversion analogique-numérique, le traitement de signal et l'activation de la sonde de capture. Cette énergie consommée n'est pas très importante, Néanmoins, elle varie en fonction du phénomène et du type de surveillance effectué.

### 2.2 Energie de traitement

L'énergie de traitement est composée de deux sortes d'énergie: l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel). Par contre, l'énergie de fuite correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. En général, l'énergie consommée pour les opérations de calcul est beaucoup plus faible que l'énergie de communication, par exemple l'énergie nécessaire pour transmettre 1 KB sur une distance de 100m est approximativement équivalente à l'énergie nécessaire pour exécuter 3 millions d'instructions avec une vitesse de 100 millions d'instructions par seconde. L'énergie consommée par le traitement des données est calculée en appliquant la formule suivante :

$$EDA = 5nj/\text{bit}/\text{signal}.$$

### 2.3 Energie de communication

Les communications consomment beaucoup plus d'énergie que les autres tâches et se décline en trois parties : l'énergie de réception, l'énergie de l'émission et l'énergie en état de veille. Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission.

- Pour transmettre un message de k bits sur une distance de d mètres, l'émetteur consomme une énergie selon la formule suivante:

$$ETx(k, d) = ETx(k) + ETx\_amp(k, d) \quad \text{cette formule change selon la distance d.}$$

$$E_{Tx}(k,d)= \begin{cases} k \cdot E_{elec}(k,d) + k \cdot \epsilon_{amp} \cdot d^2 & \text{si } d < d_{crossover} \\ k \cdot E_{elec}(k,d) + k \cdot \epsilon_{amp} \cdot d^4 & \text{sinon} \end{cases} \quad [2]$$

- Pour recevoir un message de k bits, le récepteur consomme :

$$E_{rx}(k) = k \cdot E_{elec}$$

Avec :

$E_{elec}$  : énergie de transmission/réception électronique ;

k : taille d'un message ;

d : distance entre l'émetteur et le récepteur ;

$E_{Tx\_amp}$  : énergie d'amplification;

$\epsilon_{amp}$  : facteur d'amplification;

$d_{crossover}$  : distance limite pour laquelle les facteurs de transmission changent de valeur.

### 3. Architecture d'un réseau de capteur sans fil

Un réseau de capteur sans fil (RCSF), consiste en un ensemble de nœud capteur variant de quelques dizaines d'éléments à plusieurs milliers, placés de manière plus ou moins aléatoire, dans une zone géographique appelée zone de captage ou zone d'intérêt, afin de surveiller un phénomène physique et de récolter leurs données d'une manière autonome. Les nœuds capteurs utilisent une communication sans fil pour acheminer les données captées vers un nœud collecteur appelé nœud puits ou station de base. Cette dernière transmet ensuite ces données par internet ou par satellite à l'ordinateur central (Gestionnaire de tâches) pour analyser ces données et prendre des décisions.

Cependant, dans le cas d'un réseau à grande échelle ils ne sont pas tous dans le voisinage de la station de base et les données seront acheminées du nœud source vers la station de base en transitant par plusieurs nœuds, selon un mode de communication multi-sauts.

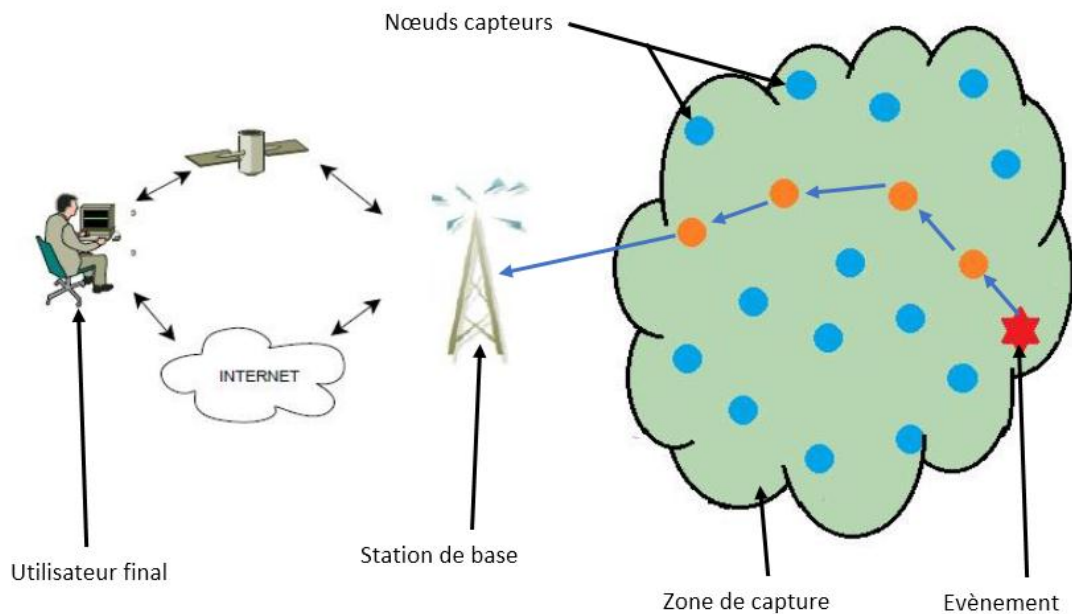


Figure 2: Architecture d'un RCSF [9].

#### 4. Caractéristiques liées aux RCSFs

Un ensemble de caractéristique sont importantes pour l'accomplissement des tâches assignées aux applications. Les plus importantes sont :

##### 4.1. L'auto configuration des nœuds de capteur

Dans un RCSF, les nœuds sont déployés soit d'une manière aléatoire (missile, avion...), soit placés nœud par nœud par un humain ou un robot. Ainsi, un nœud capteur doit avoir des capacités d'une part pour s'auto-configurer dans le réseau, et d'autre part pour collaborer avec les autres nœuds dans le but de reconfigurer dynamiquement le réseau en cas de changement de topologie du réseau.

##### 4.2. La qualité de service (QoS)

La QoS pour les RCSFs est que la quantité et la qualité d'informations extraites à partir des puits devient appropriée. Le niveau de QoS est défini par un ensemble d'attributs comme le

temps d'attente, la largeur de bande, et la perte de paquets qu'on relie directement avec le type de service du réseau.

### **4.3. Les types de communications**

Il existe différents types de communication utilisée dans les RCSFs :

- Unicast : ce type de communication utilisé pour échanger des informations entre deux nœuds sur le réseau.
- Broadcast : la station de base transmet des informations vers tous les nœuds du réseau. Ces informations peuvent être des requêtes de données bien précises, des mises à jour de programmes ou des paquets de contrôle.
- Local Gossip : ce type de communication est utilisé par des nœuds situés dans une région bien déterminée qui collaborent ensemble afin d'avoir une meilleure estimation de l'évènement observé et d'éviter l'émission du même message vers le nœud sink ce qui contribue à consommer moins d'énergie.
- Convergecast : il est utilisé dans les communications entre un groupe de nœuds et un nœud bien spécifique, l'avantage de ce type de communication est la diminution de contrôle d'entête des paquets, ce qui économise l'énergie au niveau du nœud récepteur.
- Multicast : Il permet une communication entre un nœud et un groupe de nœuds, ce type est utilisé dans les protocoles qui incluent le « clustering » dans les quels, le « clusterhead » s'intéresse à communiquer avec un groupe de nœuds.

**4.4. L'absence de l'adressage fixe des nœuds** Les nœuds dans les réseaux sans fil classiques sont identifiés par des adresses IP. Cependant, cette notion n'existe pas dans les RCSFs, ces derniers utilisent un adressage basé sur l'attribut du phénomène capté, on parle donc de l'adressage basé attribut.

En effet, les requêtes des utilisateurs ne sont pas généralement destinées à un seul nœud, mais plutôt, à un ensemble de nœuds identifiés par un attribut.

#### **4.5. Le passage à l'échelle (Scalabilité)**

Contrairement aux réseaux sans fil traditionnels (personnel, local ou étendu), un RCSF peut contenir un très grand nombre de nœuds capteurs (des centaines, des milliers...). Un réseau de capteur est scalable parce qu'il a la faculté d'accepter un très grand nombre de nœuds qui collaborent ensemble afin d'atteindre un objectif commun.

#### **4.6. Type de réseau**

Le type de réseau influe sur le choix du type des protocoles et services à mettre en place. Ainsi, pour un réseau homogène où tous les nœuds disposent des mêmes ressources, il n'est pas judicieux d'utiliser un protocole de type centralisé. Du fait qu'il y a risque d'épuisement de la réserve énergétique du nœud sur lequel tourne ce protocole. Tandis que le scénario est fort possible dans un réseau hétérogène où il existe des nœuds riches en ressources pouvant assurer une telle fonction (comme le routage par exemple).

#### **4.7. Tolérance aux pannes**

Les contraintes matérielles provoquent, fréquemment, un blocage ou une mise hors usage des capteurs sans fil pour des laps de temps importants. Ces défauts peuvent se produire en raison d'un manque d'alimentation électrique, de dommages physiques, d'interférence environnementale ou des problèmes liés aux logiciels. Le nombre de pannes qui permet au réseau de continuer convenablement ses fonctions définit sa tolérance aux pannes. Les protocoles et les algorithmes conçus pour les RCSFs visent à surmonter les pannes fréquentes des nœuds par la redondance. La tolérance aux pannes d'un réseau peut être améliorée en augmentant la densité de déploiement des capteurs. En conséquence, même si un nœud échoue, d'autres nœuds prennent le relais pour assurer la connectivité du réseau.

### **5. Domaine d'application**

Les réseaux de capteurs sans fil ont un champ d'application vaste et diversifié. Ceci est rendu possible par leur coût faible, leur taille réduite, le support de communication sans fil utilisé et la large gamme des types de capteurs disponibles. Un autre avantage est la possibilité de

s'auto-organiser et d'établir des communications entre eux sans aucune intervention humaine, notamment dans des zones inaccessibles ou hostiles, ce qui accroît davantage le nombre de domaines ciblés par leur application (environnement, catastrophes naturelles, bâtiments intelligents, la santé, l'agriculture, l'industrie...etc.). Nous présentons dans ce qui suit les domaines les plus ciblés par les RCSFs :

### **5.1. Domaine militaire**

Les RCSFs sont le résultat de la recherche militaire. Ils sont utilisés dans la surveillance des champs de bataille pour connaître exactement la position, le nombre, l'armement (chimique, biologique, nucléaire...etc.), l'identité et le mouvement des soldats et ainsi empêcher leur déploiement sur des zones à risques.

### **5.2. Domaine civil**

Apparus dans plusieurs contextes notamment dans la surveillance des habitations (concept de bâtiments intelligents), des infrastructures, des installations et des zones à risques. Leur utilisation permet de réduire considérablement le budget consacré à la sécurité des humains tout en garantissant des résultats sûrs et fiables.

### **5.3. Domaine de la surveillance de l'environnement et des habitats**

C'est le domaine propice des applications des RCSFs, les variables comme la température, la pression et l'humidité se distribuent sur une zone très vaste ce qui nécessite des moyens importants en terme de cout. Des capteurs environnementaux peuvent être utilisés pour étudier les effets des changements climatiques et des maladies qui touchent la faune et la flore; les RCSFs permettent de suivre de près le développement de la population des espèces menaces dans la nature.

### **5.4. Domaine médical**

C'est le domaine propice des applications des RCSFs, les variables comme la température, la pression et l'humidité se distribuent sur une zone très vaste ce qui nécessite des moyens importants en terme de cout. Des capteurs environnementaux peuvent être utilisés pour étudier les effets des changements climatiques et des maladies qui touchent la faune et la flore; les

RCSFs permettent de suivre de près le développement de la population des espèces menacées dans la nature.

### **5.5. Domaine agricole et environnemental**

Les réseaux de capteurs sans fil sont très utiles dans la protection de l'environnement. Ils peuvent être utilisés pour la détection des feux de forêts, des inondations, surveillance des volcans, contrôle de la qualité de l'air par le suivi de l'évolution de la densité moyenne de Co<sub>2</sub>, le déplacement des animaux...etc. Dans le domaine agricole, on cite le déploiement des capteurs sur un champ agricole afin d'identifier les zones sèches et permettre leur irrigation à temps.

### **Conclusion**

Nous avons essayé à travers ce chapitre de mettre le point sur l'architecture des RCSFs, ainsi que leurs caractéristiques et les domaines d'applications. Cette mise au point nous a permis de déduire que les protocoles de routage et la dissipation d'énergie jouent un rôle déterminant et crucial dans la conception des RCSFs. Cela nous a mené à faire une étude des principaux protocoles de routage dans le chapitre qui suit.

## **Chapitre II : Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil.**

### **Introduction**

Le routage de données sur les RCSFs est considéré comme le domaine le plus exploré parmi les domaines de recherche sur les RCSFs. Il constitue un type particulier du routage sur les réseaux sans fil vu les contraintes imposées par la nature des RCSFs, où l'énergie est considérée comme ressource limitée et le trafic de données qui converge vers une destination unique qui est le puits. Cependant, suivant le nombre de nœuds du réseau et l'étendu de champ de captage, certains nœuds ne pourront pas transmettre directement leurs messages au nœud collecteur. Ainsi, la collaboration entre les nœuds pour garantir cette transmission est une exigence. De cette manière, les messages sont propagés par les nœuds intermédiaires en établissant les chemins multi-sauts entre la source lointaine et le puits. Ce processus d'acheminement des messages d'un nœud source du réseau vers un nœud destinataire s'appelle le routage.

En tenant compte des capacités réduites des nœuds capteurs (calcul, énergie, mémoire), la communication avec le puits devrait se faire sans protocole de routage. Dans ce cas, la solution la plus simple serait pour chaque nœud capteur d'envoyer ses messages par diffusion jusqu'à ce qu'il arrive au collecteur. Cependant, cette simplicité provoque des désavantages tels que l'implosion et le chevauchement des messages. Une implosion est détectée parce que les nœuds reçoivent des copies multiples du même message (problème de redondance des données). De plus, les nœuds ne tiennent pas compte de leurs ressources pour limiter leurs opérations (calcul, émission). Ainsi, pour qu'un réseau de capteur soit efficace, la mise en place d'un algorithme de routage devient inévitable. Néanmoins, vu les contraintes imposées par ces réseaux, la mise en place d'un protocole de routage n'est pas une tâche facile.

Plusieurs travaux de recherches dans le domaine des RCSFs ont été effectués récemment et ont aboutés à une multitude de protocoles de routage destinés à ces réseaux.

### **1. La communication dans les RCSFs**

Pour la communication des réseaux ad hoc traditionnels, on utilise le modèle OSI (Open System Interconnexion) de l'ISO (International Standardization Organization), par contre entre la station de base et tous les nœuds capteurs, ne suffit plus.

Les réseaux de capteur exigent de nouvelles limitations pour la conception des protocoles de communication, ces protocoles doivent prendre en compte des contraintes de conception propres aux RCSFs (nouvelle pile protocolaire).



La pile protocolaire utilisée par la station de base ainsi que tous les autres capteurs du réseau, est composée de 5 couches, la couche application qui assure l'interface avec les applications, la couche transport est chargée du transport des données et le contrôle de flux, la couche réseau permet de gérer l'adressage et le routage de données, la couche liaison de données est responsable du multiplexage des flux des données et le contrôle des erreurs, la couche physique doit assurer des techniques d'émission/réception et de modulation de données d'une manière robuste. Ainsi que 3 niveaux (plan) qui sont : un plan de gestion d'énergie, un plan de gestion de mobilité et un plan de gestion des tâches [11].

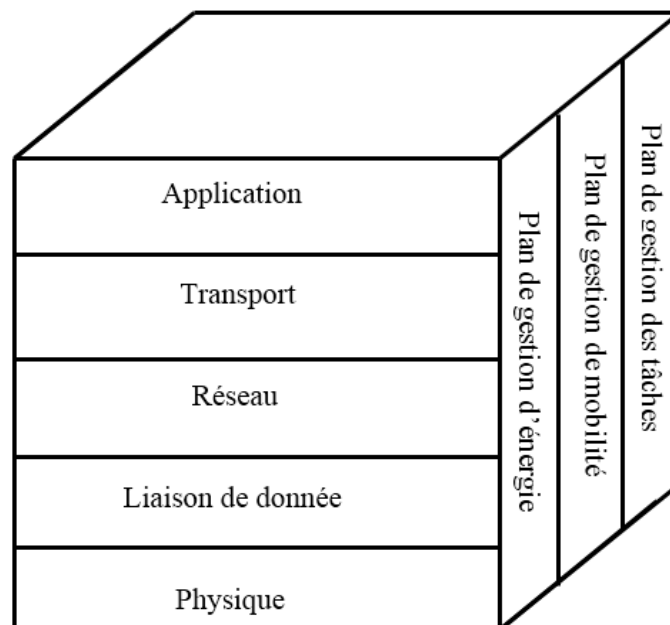


Figure 3: La pile protocolaire de communication [11].

## 2. Le fonctionnement de la pile protocolaire

- Les 5 couches de la pile protocolaire ont les mêmes fonctions que celle du modèle OSI.

- Le plan de gestion d'énergie :  
Doit gérer la manière dont les nœuds utilisent leurs énergies, par exemple le nœud doit se mettre en sommeil après la réception d'un message pour éviter la duplication des messages déjà reçus. Ou bien, quand le niveau de puissance d'un nœud est bas, il informe ses voisins qu'il ne peut pas participer au routage des messages, de cette façon la puissance restante est préservée pour la détection.
  
- Le plan de la gestion de la mobilité :  
Détection et enregistrement du mouvement des nœuds, ainsi un nouveau itinéraire le reliant aux puits ou aux autres capteurs est toujours maintenu.
  
- Le plan de gestion de tâches :  
Lors d'une opération de captage dans une région donnée, les nœuds ne doivent pas travailler avec le même rythme. Pour cela, le niveau de gestion de 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, et par conséquent prolonger la durée de vie du réseau.

### **3. Classification des protocoles de routage pour les RCSFs**

Les protocoles de routage sont conçus différemment pour répondre aux objectifs d'un réseau de capteurs sans fil. Plusieurs applications des capteurs exigent un routage efficace, sécurisé et dépense moins d'énergies assurant une bonne qualité de service et des temps de traitement et de transmission convenables. Le choix de conception d'un protocole de routage pour les RCSFs est assez vaste et nous pouvons les classer par différentes façons comme suit [12] [16]:

#### **3.1. Selon la structure du réseau**

Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil se classe généralement en :

##### **3.1.1. La topologie plate**

Dans une topologie plate, tous les nœuds de capteurs possèdent le même rôle et collaborent entre eux pour accomplir la tâche de routage. Les réseaux plats sont caractérisés par la simplicité des



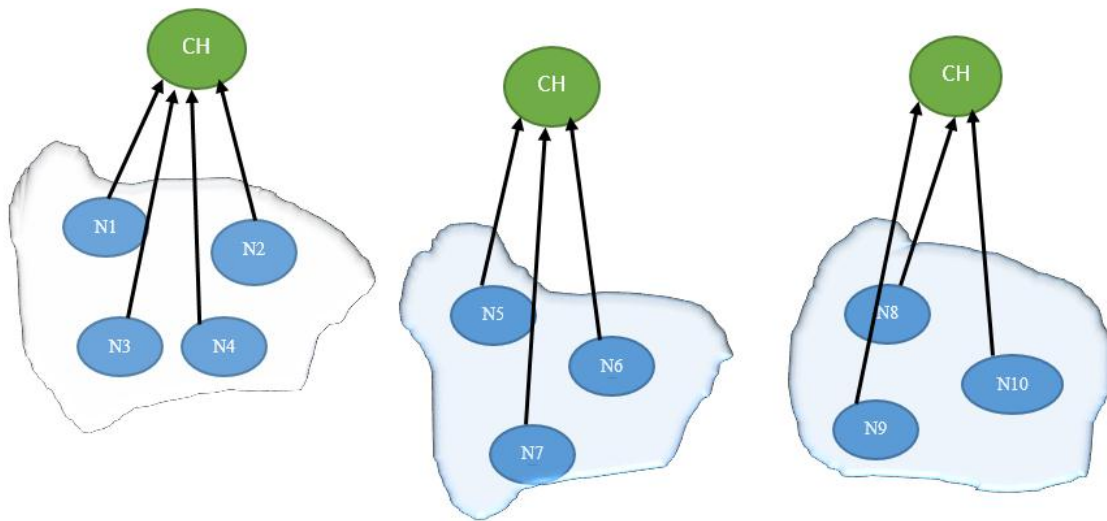


Figure 5: Topologie hiérarchique.

### 3.1.3. La topologie de la localisation

L'identification des emplacements géographiques des nœuds capteurs sur la zone de captage est d'une importance capitale pour les mécanismes de routage de données dans les RCSFs. Ces informations de localisation permettent le calcul des positions des capteurs et les distances qui les séparent afin de construire les chemins les plus courts entre un nœud source et sa destination. Cette approche de routage est plus économe en énergie car elle dispense les nœuds capteurs d'employer les méthodes aléatoires ou probabilistes pour rechercher les routes. De plus, la localisation des nœuds (et par conséquent de leurs régions) permet de diffuser des requêtes uniquement à ces régions et éviter leur diffusion en mode broadcast (diffusion globale à tous les nœuds) et ainsi réduire le nombre de transmissions d'une manière significative. L'inconvénient est la nécessité d'équiper les nœuds capteurs avec un système de localisation par satellite comme le GPS qui consomment énormément d'énergie.

## 3.2. Selon les fonctions du protocole

### 3.2.1. La qualité de service

Dans les protocoles de routage basé 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 le retard, l'énergie, la largeur de la bande passante... Les protocoles de

cette approche sont très recommandés pour les applications de surveillance (centrales nucléaires, applications militaires ...). [17] [18]

### **3.2.2. Négociation**

Les nœuds du réseau entament une négociation sur les données à transmettre en diffusant un message contenant une métadonnée décrivant les données à transmettre. Les nœuds intéressés par ces données manifestent leur intérêt et les reçoivent en entier. La sélection des nœuds destinataires par l'intérêt réduit la bande passante et la consommation d'énergie du réseau. Cette méthode élimine les transmissions redondantes et établit des communications selon les ressources du réseau.

### **3.2.3. Multi-chemin**

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 : il ne partage qu'un nombre réduit de nœuds. Malgré leur grande tolérance aux pannes, ces protocoles nécessitent plus de ressources énergétiques et plus de messages de contrôle.

## **3.3. Selon le mode de transmission**

### **3.3.1. Protocole proactif**

Le calcul de routes se fait à priori ce qui facilite l'acheminement des données. Les informations des chemins à suivre par chaque donnée source vers une destination sur le réseau sont stockées dans une table de routage. Les tables de routage doivent être mises à jour régulièrement afin de corriger certains chemins coupés en raison du changement de topologie dus aux défaillances ou à la mobilité de certains nœuds capteurs. Cette mise à jour est assurée par la diffusion périodique des paquets de contrôle sur le réseau, ce qui n'est pas évident pour des réseaux de grande taille comme les réseaux de capteurs sans fil. L'établissement de routes se fait indépendamment des besoins réels de l'application et un bon nombre de ces routes est sauvegardé pour ne jamais être utilisées. Une autre limite concerne la taille des tables de routage, notamment pour des réseaux de grande taille, qui pourrait dépasser les capacités de stockage des nœuds capteurs. [19]

### **3.3.2. Protocole réactif**

Également appelé routage à la demande, le routage réactif permet de créer les routes selon les besoins de l'application. Lorsqu'une requête est diffusée sur le réseau, la procédure de découverte de routes est lancée par les nœuds concernés par cette requête, et les réponses sont acheminées sur les routes créées. Cette procédure est lancée également pour des applications event-driven (applications orientées événements) pour chaque événement intéressant détecté. L'avantage d'établir des routes à la demande est la conservation d'énergie par rapport au routage proactif. La recherche de routes peut causer des lenteurs pour l'acheminement des données ce qui n'est pas approprié aux applications interactives et temps-réel. [20]

### **3.3.3. Protocole hybride**

C'est une combinaison des deux concepts de routage proactif et réactif. Des tables de routage sont stockées sur les nœuds capteurs de façon à établir des routes sur leur voisinage proche (généralement en deux sauts maximums). Au-delà de leur voisinage, le routage devient réactif et des procédures de recherche de routes sont lancées. Cette approche combine les avantages des deux autres approches proactive et réactive et réduit considérablement la taille des tables de routage ainsi que les délais d'établissement de routes.

## **3.4. Selon type d'application**

### **3.4.1. Event-driven**

Dans ce type, les capteurs ne transmettent leurs données que si un événement prédéfini est observé comme un changement brusque. Ainsi, le délai de la transmission est limité et la réception doit être assurée (des envois multiples sont à prévoir) (exemple: les applications de la surveillance).

### **3.4.2. Time-driven**

La collecte de données se fait périodiquement d'une façon continue ou bien selon une certaine distribution déterministe ou probabiliste. Le processus d'envoi planifie les périodes du sommeil des capteurs qui ne participent pas (exemple: les applications de la météo).

### **3.5. Selon le mode de fonctionnement**

#### **3.5.1. Découverte**

Permet aux nœuds de connaître des services et de s'auto-organiser pour accomplir leurs tâches.

#### **3.5.2. Interrogation**

Propager une requête sur le réseau pour un intérêt particulier.

#### **3.5.3. Acheminement**

C'est le service de communication qui permet d'acheminer les données vers la destination.

### **3.6. Selon paradigmes de communication**

#### **3.6.1. Node centric**

Les communications se basent sur l'identification des nœuds participants.

#### **3.6.2. Data centric**

Les communications se basent sur les données à transmettre.

#### **3.6.3. Position centric**

Les communications se basent sur la position des nœuds.

## **4. Les principaux protocoles hiérarchiques de routage aux RCSFs**

L'objectif principal du routage hiérarchique est de maintenir efficacement la consommation d'énergie de nœuds de capteurs en les impliquant dans la communication multi-hop au sein d'un cluster et en effectuant l'agrégation et la fusion des données afin de diminuer le nombre de messages transmis à la destination. La formation de clusters est généralement fondée sur la réserve d'énergie des capteurs et sur les capteurs qui sont à proximité de cluster-head. LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchical) est l'une de premières approches de routage pour les réseaux de capteurs.

L'idée proposée par LEACH a été une inspiration pour de nombreux protocoles de routage hiérarchique, bien que certains protocoles aient été développés de manière indépendante.

#### **4.1. LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)**

Est l'un des protocoles les plus populaires pour les réseaux de capteurs sans fil. 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 [1] [2].

##### **4.1.1. Fonctionnement**

Le protocole LEACH se déroule en rounds. Chaque round se compose de deux phases : Phase de construction et phase de communication. La phase de construction consiste à définir les clusters et élire les Clusters Head (CHs), la phase de communication est responsable de la transmission des données captées. Les deux phases doivent être exécutées en même temps par les nœuds du réseau afin de garantir un meilleur fonctionnement du protocole. Après une période de temps passée, une requête est diffusée sur le réseau par la station de base afin d'évaluer les performances des nœuds chefs de zones en terme d'énergie et procéder, le cas échéant, à son remplacement.

Le protocole LEACH est conçu pour des applications time-driven. Son utilisation dans des applications event-driven est inapproprié car il emploie le schedule TDMA et par conséquent un mode de transmission proactif [1] [2].

##### **4.1.2. Caractéristiques**

Economie d'énergie, minimisation du nombre de messages circulant sur le réseau.

#### **4.2. TEEN et APTEEN**

TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol) et son extension APTEEN (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] [6].

#### **4.2.1. Fonctionnement**

Le protocole TEEN favorise le mode réactif pour le transfert de données et son complément APTEEN introduit le mode proactif en modifiant au besoin les messages émis par le chef de zone. La majorité des comportements de TEEN et APTEEN sont semblables aux comportements du protocole LEACH, sauf que dans les deux premiers protocoles cités, on ne transmet pas de Schedule TDMA mais un message contenant des informations sur la tâche demandée au capteur, la valeur critique après laquelle les membres doivent envoyer des rapports de données et la valeur du seuil représentant un changement minimal obligeant les nœuds à envoyer le nouveau rapport de données. De plus, les nœuds qui exécutent les commandes de APTEEN doivent respecter un délai maximum toléré entre deux émissions de rapport. Ce délai garantit un comportement proactif et permet aux applications time-driven d'envoyer des informations périodiques sur leurs environnements. Pour cela, le protocole APTEEN peut être employé pour des applications event-driven et time-driven [3] [6].

#### **4.2.2. Caractéristiques**

Répondre aux applications event-driven et time-driven en introduisant un mode de transmission réactif nécessaire aux applications critiques et un mode de transmission proactif favorable aux applications périodiques.

### **4.3. PEGASIS et Hierarchical PEGASIS**

PEGASIS (Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems) et Hierarchical PEGASIS 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. 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) [8] [5].

#### **4.3.1. Fonctionnement**

Le principe est d'organiser le réseau sous forme d'arbre hiérarchique où les nœuds collecteurs sont considérés comme des feuilles et la station de base comme la racine. Les données captées transitent d'une feuille à la racine par des nœuds intermédiaires formant une chaîne. A la réception d'un paquet de données, le nœud intermédiaire procède à son traitement avant son expédition vers son voisin direct de la chaîne. Le dernier nœud de la chaîne (appelé leader) transmet les données fusionnées à la station de base.

#### **4.3.2. Caractéristiques**

Economie d'énergie, répartition équitable des tâches et des ressources.

### **4.4. EEPSC (Energy-Efficient Protocol with Static Clustering)**

EEPSC est un protocole statique hiérarchique basée sur le regroupement, ce qui élimine les frais généraux de regroupement dynamique et engage des nœuds de capteurs haute puissance pour les tâches consommatrices d'énergie et, par conséquent prolonge la durée de vie du réseau. Dans chaque niveau, EEPSC choisit le nœud de capteur avec un maximum d'énergie pour qu'il soit un cluster-head [15].

#### **4.4.1. Fonctionnement**

La station de base diffuse des messages pour construire des niveaux, ensuite elle sélectionne le nœud qui a le maximum d'énergie pour chaque niveau, et l'élit comme un cluster-head, par l'utilisation du schéma de regroupement statique [15].

#### **4.4.2. Caractéristiques**

Economie d'énergie par le schéma de regroupement statique.

## **Conclusion**

Il existe plusieurs protocoles de couverture proposés dans la littérature. Ces protocoles peuvent être classifiés selon l'approche utilisée. Généralement ces protocoles se focalisent sur le maintien de la couverture totale tout en minimisant le nombre de nœuds actifs, cela en déterminant les nœuds qui doivent être passifs afin d'économiser leur l'énergie.

Cette analyse nous a permis de proposer notre protocole de routage dont l'objectif principal est le prolongement de la durée de vie du réseau ainsi que la gestion efficace de la consommation énergétique. Le concept de base ainsi que l'architecture de fonctionnement de ce dernier vont être présentés dans le chapitre qui suit.

## **Chapitre III : Contribution.**

### **Introduction**

Après avoir étudié les réseaux de capteurs (WSN), à travers les chapitres précédents; nous allons présenter dans ce chapitre nos contributions dans le domaine du routage sur ce type de réseaux.

Notre objectif de départ était de concevoir un protocole de routage qui garantit une optimisation de la consommation de l'énergie avec une meilleure distribution de cette consommation à travers l'ensemble du réseau.

Afin d'implémenter notre protocole proposé, nous avons utilisé le code d'implémentation du protocole EEPSC et LEACH, et effectué certaines modifications à plusieurs niveaux. Ces modifications consistent en combinant entre ces deux protocoles pour obtenir un résultat meilleur.

### **1. Le protocole LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)**

Son principe est de former des clusters communs de calcul et de traitements en se basant sur la puissance du signal et le niveau d'énergie des nœuds capteurs. Chaque cluster est dirigé par un chef, jouant le rôle d'agrégateur et de routeur, en effectuant des traitements sur les données reçues et leur expédition vers la station de base. Ce rôle de chef est échangé entre les nœuds d'un cluster afin de répartir équitablement la consommation d'énergie entre eux. Le protocole LEACH se déroule en rounds, où chaque round se compose de deux phases :

La phase de construction consiste à définir les clusters et élire les Clusters Head, la phase de communication est responsable de la transmission des données captées.

#### **1.1. Les avantages**

- La transmission des données par les clusters-Head a un avantage par rapport à l'envoi direct.
- Le tour de rôle d'élire les clusters-Head a une efficacité d'élargir la durée de vie du réseau.

- Eliminer la duplication par le traitement de données par les cluster-Head.

## **1.2. Les inconvénients**

- Une dissipation d'énergie pour élire un cluster-Head pour chaque round.
- Si la zone de captage très large, une grande dissipation d'énergie pour faire une transmission.

## **2. Le protocole EEPSC (Energy-Efficient Protocol with Static Clustering)**

Est un protocole hiérarchique basée sur le regroupement statique, La station de base diffuse des messages pour construire des niveaux de grappes, ensuite elle sélectionne le nœud qui a le maximum d'énergie pour chaque niveau de grappe, et l'élire comme un cluster-Head, par l'utilisation du schéma de regroupement statique. Ce qui élimine les frais généraux de regroupement dynamique.

### **2.1. Les avantages**

- EEPSC utilise le schéma de regroupement statique pour élire les clusters-Head, donc élimine la surcharge de regroupement dynamique.

### **2.2. Les inconvénients**

- La sélection des clusters-Head reste statique durant les rounds.

## **3. Le protocole proposé Hybride LEACH-EEPSC**

Notre protocole se base essentiellement sur deux phases, la phase d'initialisation où se crée les niveaux de grappes, les Clusters-Head et leurs grappes, et les supers Clusters-Head. La phase de transmission où chaque nœud envoie des données à son supérieur jusqu'à la station de base.

### **3.1. La phase d'initialisation**

La phase d'initialisation commence par la création des niveaux dans laquelle on adopte la même approche utilisée dans EEPSC, où la station de base diffuse  $K-1$  messages de différentes forces pour construire  $K$  niveaux. Tous les nœuds de capteurs qui entendent ce message adhèrent à ce niveau  $K$  en configurant leurs ID et d'informer la station de base qu'ils sont membres du niveau  $k$  via la transmission d'un message (Join-REQ).

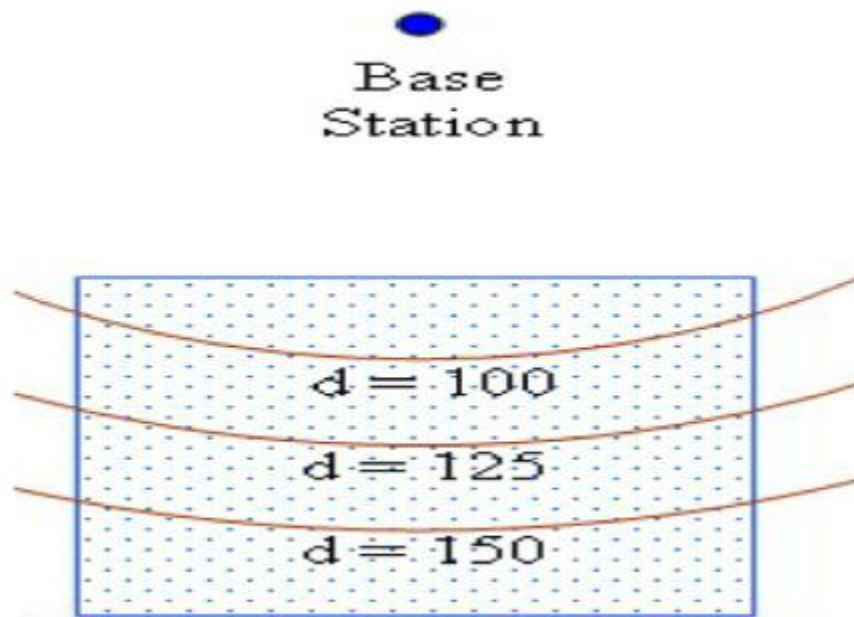


Figure 6 : Les niveaux de grappes.

Une fois les niveaux de grappes sont déterminés, l'étape de création des clusters-Head et leurs grappes commencent à chaque niveau de grappes, dans laquelle on adopte la même approche utilisée dans LEACH et son amélioration, d'où chaque nœud décide de devenir ou ne pas devenir un CH pour le tour actuel, cette décision est basée sur le pourcentage suggéré des CHs pour chaque niveau de grappes et le nombre de fois que le nœud a été un CH. Cette décision est prise par le nœud  $n$  de choisir un nombre aléatoire entre 0 et 1, Si le nombre est inférieur à un seuil  $T(n)$ , le nœud devient un CH pour le tour actuel, le seuil est fixé comme suit :

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p * [r \bmod (1/p)]} & n \in G \\ 0 & n \notin G \end{cases}$$

Où  $P$  = le pourcentage désiré,  $r$  = le tour actuel,  $G$  = l'ensemble de nœuds qui ne sont pas des CHs dans le dernier tour  $1/p$ .

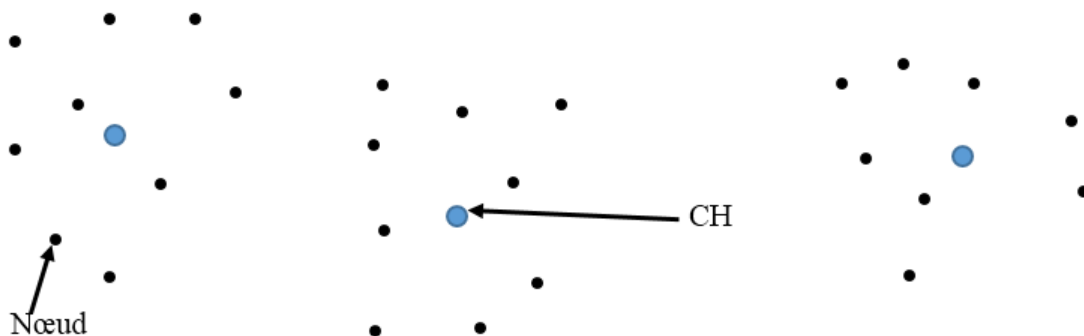


Figure 7 : La création des Clusters-Head et leurs clusters.

Chaque CH élu diffuse un message d'annonce aux autres nœuds utilisant un protocole CSMA MAC, durant cette étape les nœuds non-CHs gardent leurs récepteurs aux cours d'entendre les annonces des CHs. Tous les nœuds non-CHs décident à quel groupe appartient-il selon la force du signal, dans le cas d'égalité un CH va être choisi aléatoirement, à son tour doit informer le CH qu'il va être un membre de son groupe utilisant le protocole CSMA MAC.

Une fois le CH reçoit tous les messages des nœuds qui veulent inclure dans son groupe, le CH va créer un calendrier de TDMA diffusé sur les nœuds du groupe.

A la fin de cette phase d'initialisation, des supers Clusters-Head vont être créés pour chaque niveau de grappe de la même façon que les CHs pour utiliser le multi-saut afin de minimiser les grandes transmissions.

### 3.2. La phase de transmission

La phase de transmission est divisée en plusieurs itérations dans lesquelles les nœuds vont transmettre leurs données collectées aux CHs. Dans chaque itération, un nœud transmet au moins un paquet de données durant son slot de temps alloué précédemment par son CH, Sachant que le slot de temps alloué à chaque nœud est constant, le temps de chaque itération de transmission va dépendre évidemment du nombre de nœuds existants dans chaque grappe. L'utilisation des TDMA va permettre aux nœuds de pouvoir éteindre leurs antennes radio jusqu'à le moment de transmission alloué.

Lorsque toutes les données ont été reçues, le CH exécute les fonctions du traitement du signal pour le compresser en un signal unique, ce dernier va être envoyé au super Cluster-Head, à son tour va l'envoyer à la station de base. Sachant que les SCHs ont les mêmes fonctionnalités que les CHs.

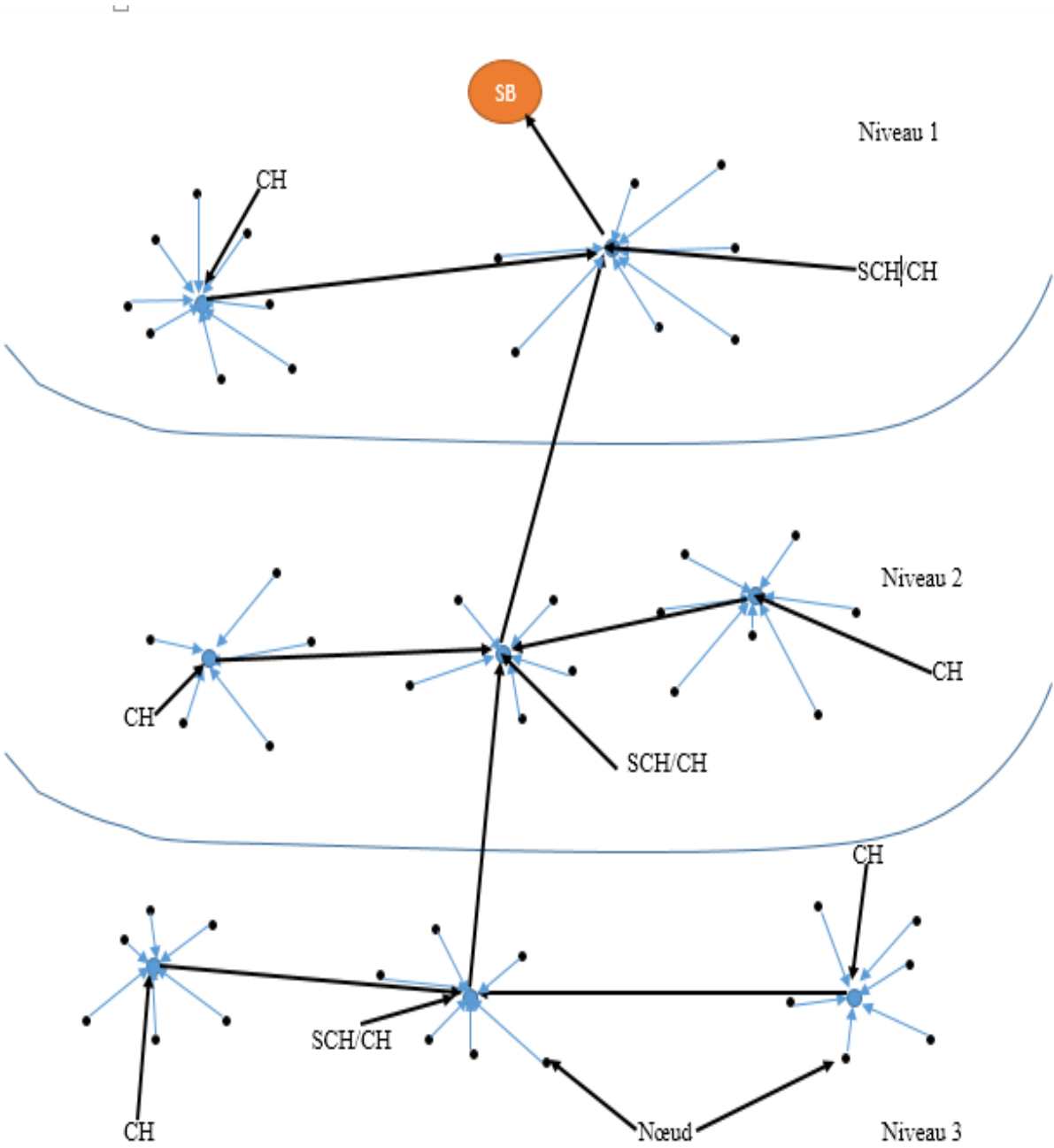


Figure 8 : La transmission des données.



## 4. Description de déroulement du protocole

### 4.1. Phase d'initialisation

La phase d'initialisation est la première phase de notre protocole, elle consiste au premier lieu à construire les niveaux de grappes selon l'organigramme suivant :

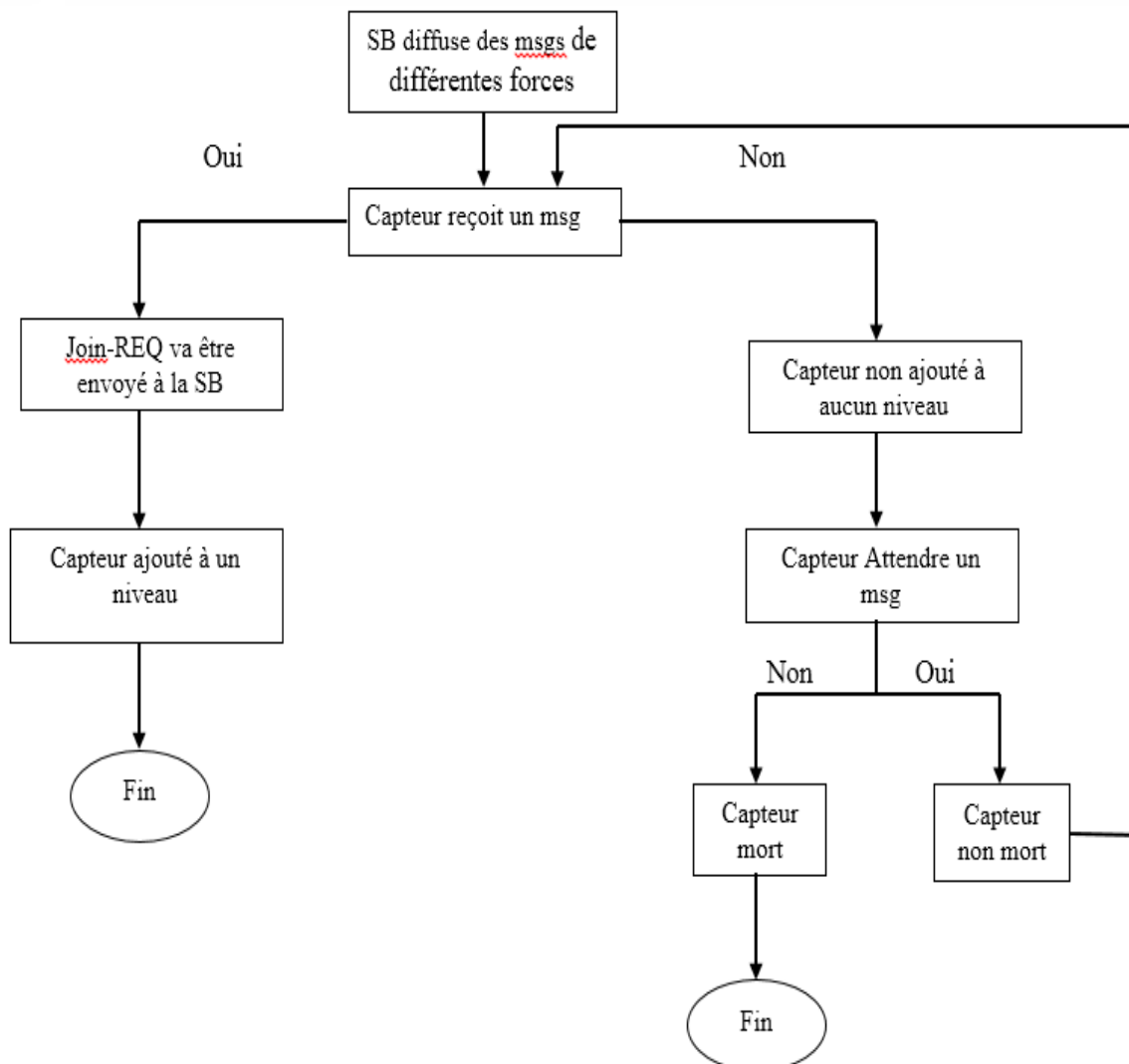


Figure 9 : Schéma de détermination des niveaux.

Une fois la détermination des niveaux de grappes est achevée, la création des CHs commence à chaque niveau selon l'organigramme suivant :

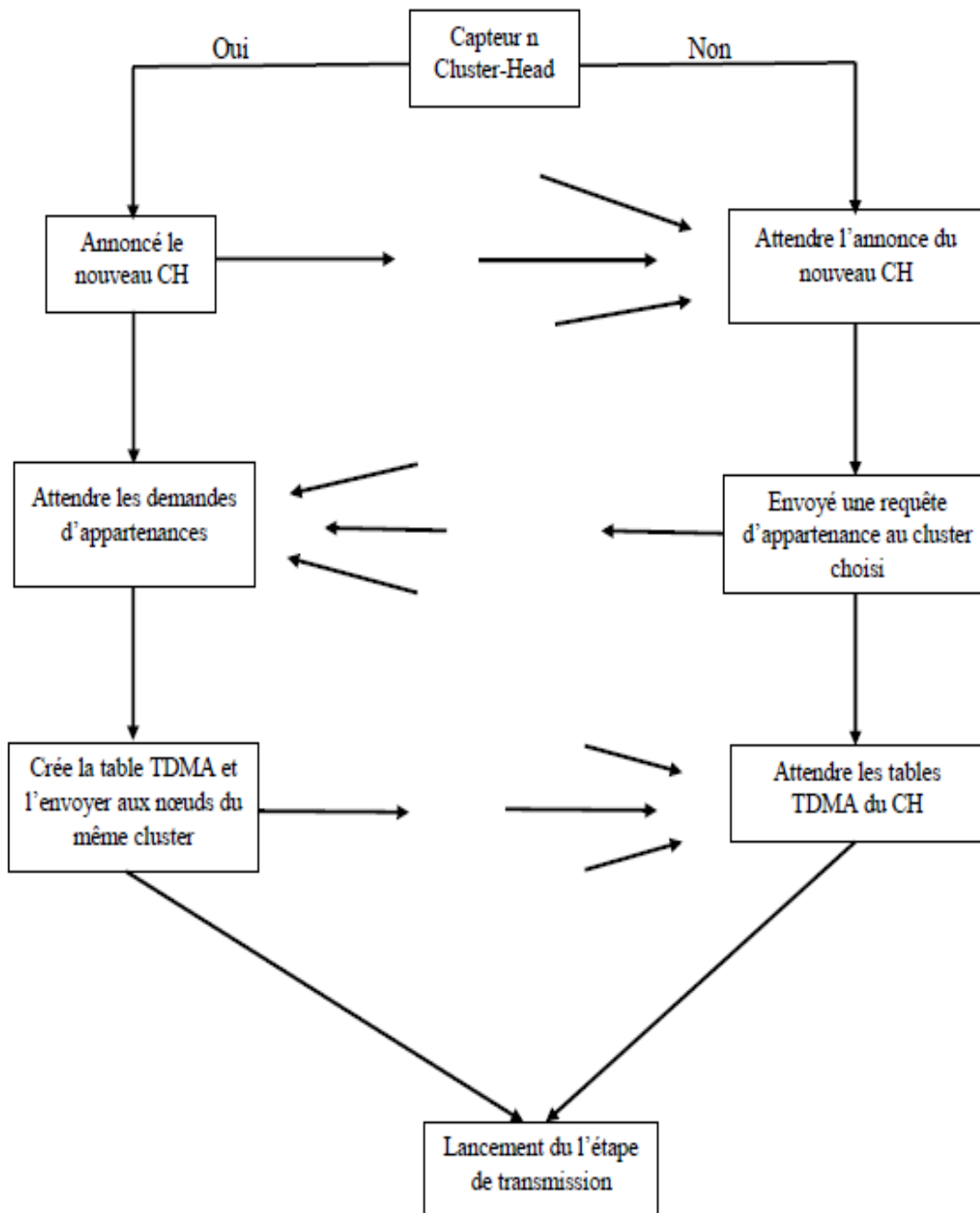


Figure 10: Schéma de création des CHs et leurs grappes [4].

La création des CHs est terminée, l'étape de création des supers Clusters-Head commence sur le même principe que les CHs, selon l'organigramme suivant :

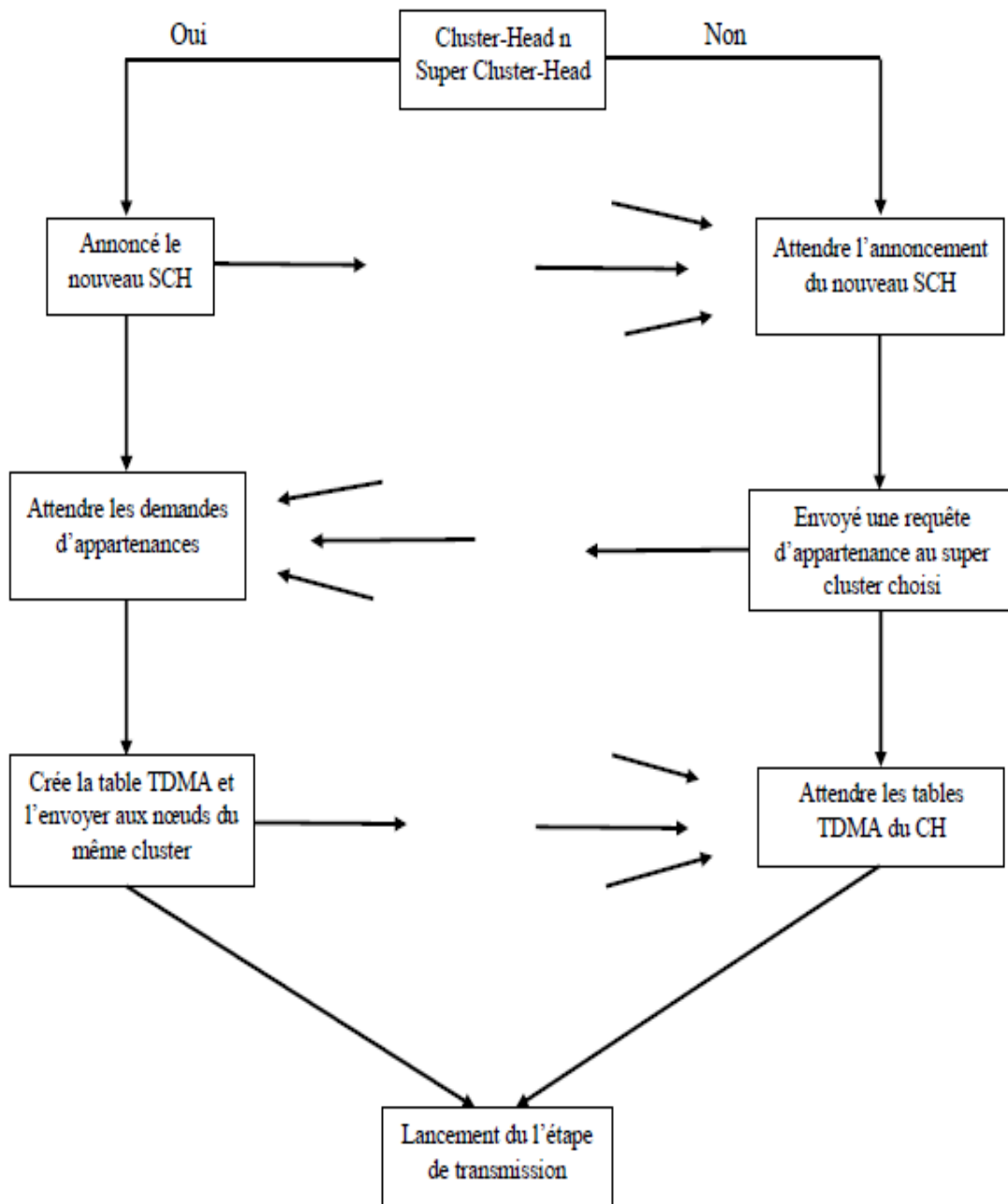


Figure 11: Schéma de création des supers clusters-Head.

Une fois la création des supers clusters-Head est terminer, la phase de l'initialisation est terminer. D'où la phase de transmission commence.

## 4.2. La phase de transmission

Consiste de transmettre les données collectées par des nœuds à son clusters-head, ensuite de les CHs à son super clusters-head à son tour à la station de base selon l'organigramme suivant :

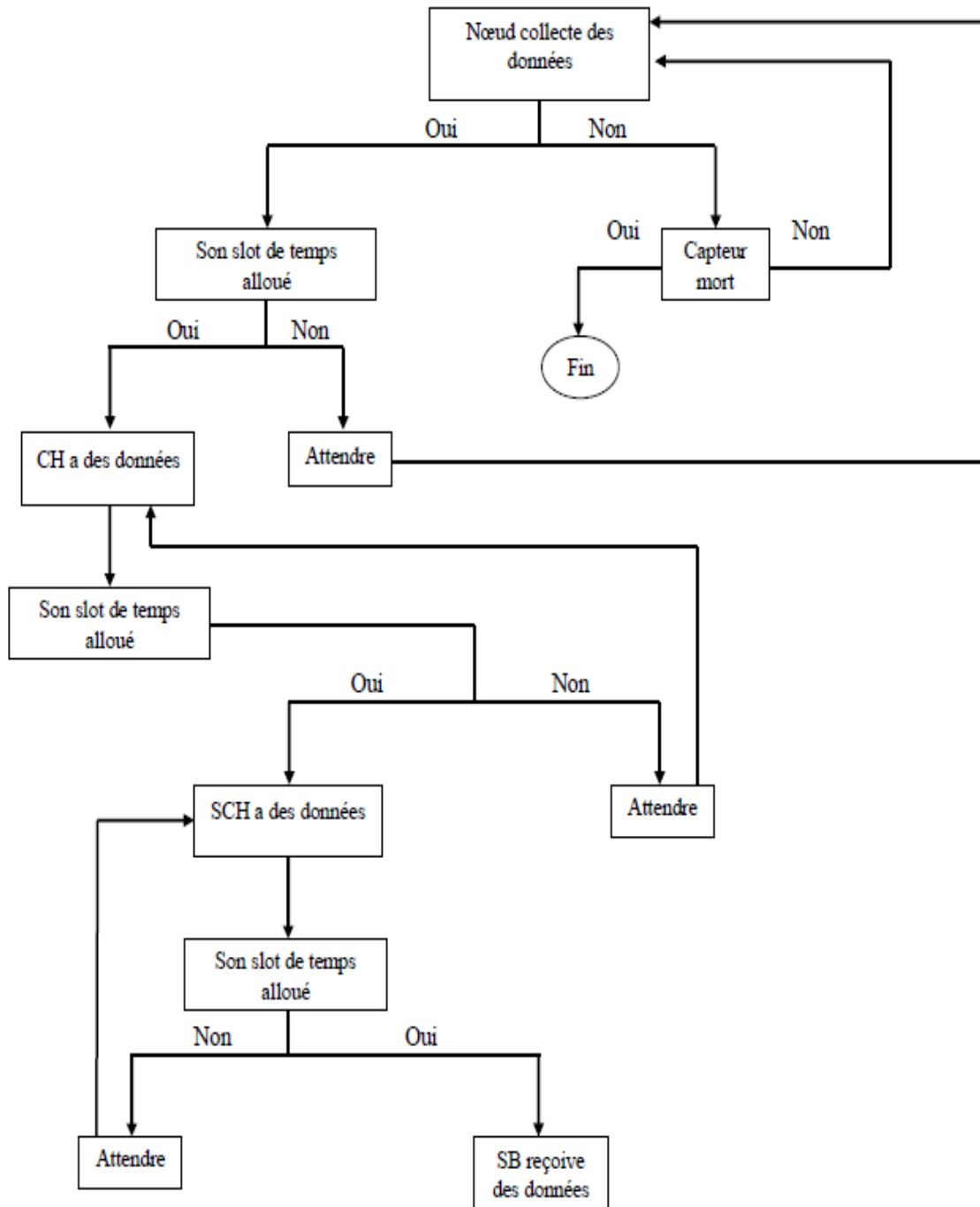


Figure 12: Schéma de transmission des données à la station de base.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre protocole proposé qui vise la conservation de l'énergie, notre solution est inspirée des deux protocoles LEACH et EEPSC présentes dans le chapitre précédent tout en présentant un fonctionnement différent. Notre protocole proposé organise le réseau en couches par le protocole EEPSC, d'où à chaque couche en introduisant le protocole LEACH, ensuite la création des supers cluster-Head pour la transmission par le multi-saut.

Pour évaluer les performances de notre solution, nous présentons, dans le chapitre suivant, les résultats des simulations de notre protocole.

## Chapitre IV : Simulation et analyse des performances.

### Introduction

Nous allons présenter dans ce chapitre les résultats des simulations de notre protocole proposé Hybride LEACH-EEPSC, Les simulations effectuées permettent d'évaluer les performances de la solution et consolider nos affirmations.

### 1. Choix du langage et de l'environnement d'implémentation

Nous avons choisi JAVA comme langage d'implémentation pour notre protocole proposé, qui donne un avantage de réaliser un processus de modélisation d'un système réel, sur lequel on opère des expérimentations afin de comprendre son comportement et/ou d'évaluer plusieurs stratégies opérationnelles sur ce système. Dans cette simulation, notre modèle d'expérimentation est établi selon les paramètres suivants et que tous les nœuds ont une position fixe durant toute la période de simulation :

Les paramètres	Les valeurs
la surface du réseau	100 x 100 m <sup>2</sup>
La localisation de la SB	(50,175)
Le nombre de nœuds	100
L'énergie initiale des nœuds	2 J
Taille de paquet de donnée	500 Bytes
<u>E<sub>tx</sub></u> (énergie consommée durant la transmission)	50 <u>nJ</u>
<u>E<sub>rx</sub></u> (énergie consommée durant la réception)	50 <u>nJ</u>
<u>E<sub>fs</sub></u> (Energy free space)	10 <u>pJ/bit/m<sup>2</sup></u>
<u>E<sub>mp</sub></u> (Energy multi-path)	0,0013 <u>pJ/bit/m<sup>4</sup></u>
EDA (L'énergie consommée par le traitement des données)	5 <u>nJ/bit/signal</u>

Tableau 1: Les paramètres de la simulation [14] [15].

## 2. Résultat de la simulation et comparaison

Nous avons pris une comparaison entre les deux protocoles, d'où la figure suivante montre le nombre des nœuds vivants :

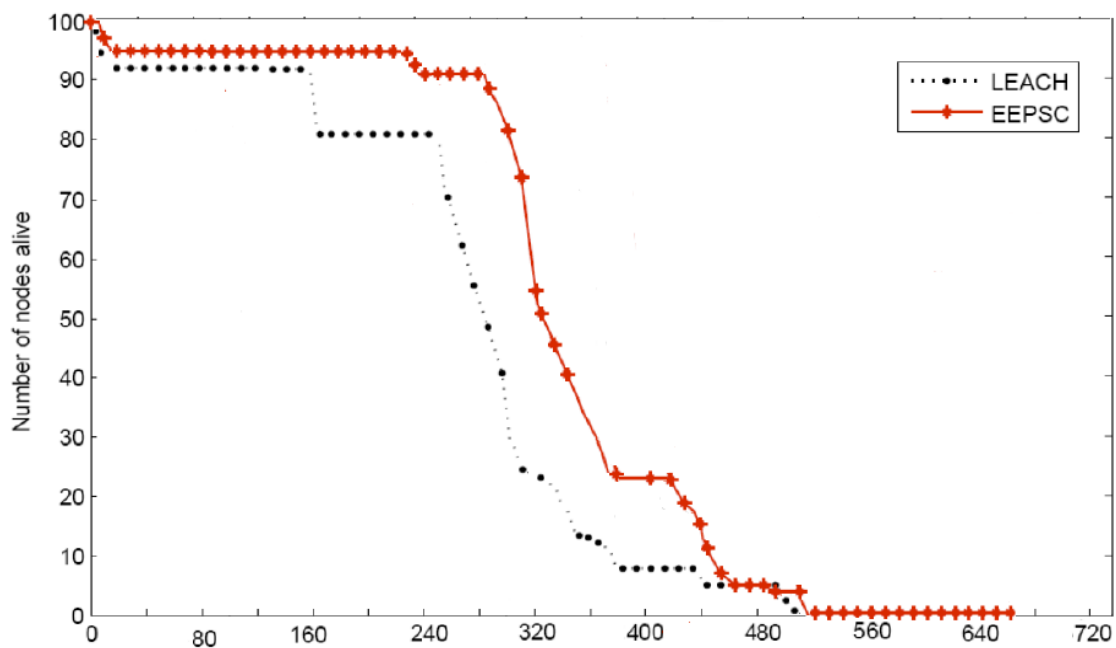


Figure 13: Nombre de nœuds vivants [14].

Nous constatons que le premier nœud meurt au 6<sup>ème</sup> round avec le protocole LEACH, alors qu'avec le protocole EEPSC meurt aux 10<sup>ème</sup> round.

Le dernier nœud avec le protocole LEACH meurt aux 520<sup>ème</sup> rounds, et avec le protocole EEPSC meurt aux 660<sup>ème</sup> rounds.

La figure suivante montre un résultat de notre protocole proposé Mix LEACH-EEPSC :

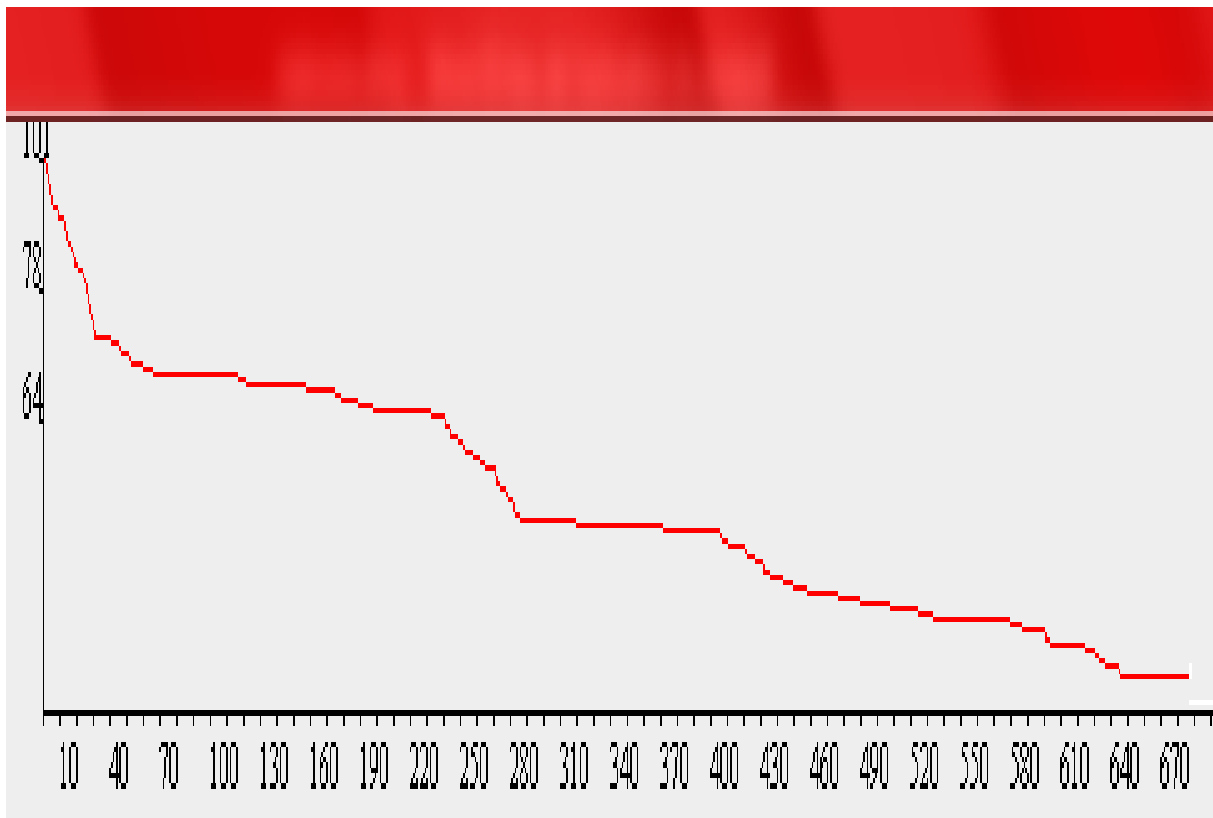


Figure 14 : Nombre de nœuds vivants.

Dans cette figure nous constatons que le premier nœud meurt aux 10<sup>ème</sup> rounds, alors que le dernier nœud meurt aux 680<sup>ème</sup> rounds.

D'après ces deux figures, nous présentons le tableau ci-dessous résume les résultats de la simulation effectuée sur notre protocole proposé Hybride LEACH-EEPSC et celle des autres simulations effectuées sur les deux protocoles conquérant LEACH et EEPSC.



<b>Rounds</b>	<b>Le protocole LEACH</b>	<b>Le protocole EEPSC</b>	<b>Le protocole Hybride LEACH-EEPSC</b>
1	100	100	100
3	100	100	100
6	99	100	100
10	98	99	100
12	96	98	99
20	95	96	90
40	92	96	70
80	92	96	68
160	92	96	64
200	80	96	60
250	79	96	55
320	25	55	53
400	10	20	35
480	10	10	30
520	0	8	23
600		5	14
640		3	8
660		0	4
680			0

Tableau 2 : Tableau comparatif des résultats de simulation [14] [15].

Pour bien approfondir l'évaluation des performances de notre protocole proposé Hybride LEACH-EEPSC, nous avons mesuré le pourcentage de mortalité des nœuds, ce qui nous a donné comme résultat le graphe de la figure 15 :

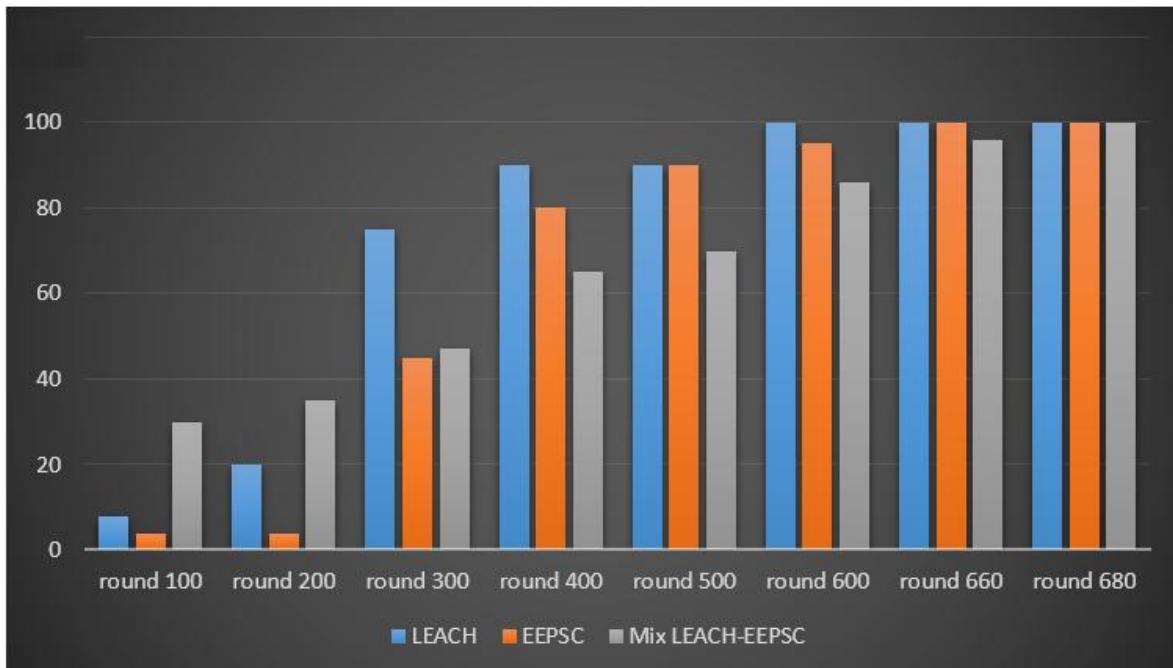


Figure 15 : Le pourcentage des nœuds morts.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les résultats de la simulation de notre protocole proposé Hybride LEACH-EEPSC. Les résultats des simulations effectuées montrent clairement que notre protocole permet de meilleures prestations par rapport aux protocoles LEACH et EEPSC, en ce qui concerne la consommation de l'énergie à travers l'ensemble du réseau et ça durée de vie.

## Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil constituent un axe de recherche très fertile et peuvent être appliqués dans plusieurs domaines différents. Cependant, il reste encore de nombreux problèmes à résoudre dans ce domaine afin de les utiliser dans les conditions réelles. L'un des problèmes qu'on peut rencontrer dans ce genre de réseau est la dissipation d'énergie, il est donc important de mettre en place des protocoles qui minimise la consommation d'énergie.

Nous avons essayé à travers ce mémoire de faire le tour sur ce phénomène qui touche les réseaux sans fil. Nous avons commencé par présenter les généralités qui entourent le domaine des RSCFs, puis nous avons focalisé notre étude sur les principaux protocoles de routages et leurs différentes caractéristiques, qui présentent les différentes solutions de routage existantes selon une classification par rapport à la structure du réseau utilisée, les fonctions du protocole, le mode de transmission et d'autres critères.

Dans ce projet, nous avons mis un protocole qui a été inspiré des deux protocoles LEACH et EEPSC. Au cours de ce travail qui a commencé par une étude bibliographique, nous avons découvert un champ de recherche très intéressant qui touche presque tous les domaines d'application. Cela nous a permis de nous initier à la recherche, et nous espérons avoir apporté une contribution, aussi petite qu'elle soit, à ce domaine qui est en pleine évolution.

Afin de valider les améliorations apportées par notre protocole proposé en terme de prolongement de temps de vie du réseau ainsi que la gestion efficace de la consommation énergétique, nous avons simulé le fonctionnement de notre algorithme avec le simulateur créé JAVA et comparé les résultats fournis avec ceux du protocole LEACH et EEPSC.

En effet, l'étape de simulation nous a posé un véritable défi puisque le code d'implémentation du protocole EEPSC n'est pas disponible d'autant plus que celui du protocole LEACH est difficile à obtenir.

Enfin, comme perspectives nous envisageons d'améliorer les performances de notre protocole proposé que ce soit au niveau des algorithmes de construction, et que de donner un meilleur résultat par rapport aux protocoles plus récent.

## *Références bibliographiques:*

- [1] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences – 2000.
- [2] W. B. Heinzelman, An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks, Member, IEEE, Anantha P. Chandrakasan, Senior Member, IEEE, and Hari Balakrishnan, Member, IEEE, IEEE transactions on wireless communications, vol. 1, no. 4, October 2002.
- [3] N. WANG and H. ZHU, An Energy Efficient Algorithm Based on LEACH Protocol College of Information Engineering, Zheng Zhou University, Zhengzhou, China, 2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering.
- [4] Y. Li, The Improvement of LEACH Protocol in WSN, College of Information Engineering, Chutian University of Huazhong Agricultural, University Wuhan, China, 20 II International Conference on Computer Science and Network Technology.
- [5] L. Ding, The Improvement of LEACH Protocol in WSN, College of science, Huazhong Agricultural University Wuhan, China, 20 II International Conference on Computer Science and Network Technology.
- [6] F. Liu, College of science, Huazhong Agricultural University Wuhan, China, 20 II International Conference on Computer Science and Network Technology.
- [7] S. Ahmed, M. M. Sandhu, N. Amjad, A. Haider, M. Akbar, A. Ahmad, Z. A. Khan\*, U. Qasim#, N. Javaid, *iMOD LEACH: improved MODified LEACH Protocol for Wireless Sensor Networks*, COMSATS Institute of Information Technology, Islamabad, Pakistan, Internetworking Program, Faculty of Engineering, Dalhousie University, Halifax, Canada, University of Alberta, Alberta, Canada, Communications and Photonics Conference (SIEPC '13), 2013, Riyadh, Saudi Arabia.
- [8] F. Zhao, Y. Xu, and R. Li, Improved LEACH Routing Communication Protocol for a Wireless Sensor Network, Department of Computer Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China, International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2012, Article ID 649609, 6 pages doi:10.1155/2012/649609, Received 7 June 2012; Revised 7 November 2012; Accepted 19 November 2012.

- [9] B. Djallel Eddine, «Protocole de routage pour les réseaux de capteur sans fil », Mémoire pour l'obtention du grade de magistère, Université de Hadj Lakhdar-Batna, Promotion 2007/2008.
- [10] K. BEYDOUN, «CONCEPTION D'UN PROTOCOLE DE ROUTAGE HIERARCHIQUE POUR LES RESEAUX DE CAPTEURS», thèse pour l'obtention du grade de docteur, Université France-Comte, 2009.
- [11] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. I. Cayirci. A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, August 2002.
- [12] K. Akkaya and M. Younis. A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor networks. Department of computer Science and Electrical Engineering University of Maryland, Baltimore Conty, MD 21250, 2003.
- [13] F. Nawaz and S. A. Bazaz, *International Journal of Advanced Computer Science*, Vol. 2, No. 10, Pp. 369-375, Manuscript received: 2 Nov 2011, Revised: 22 Apr 2012, Accepted: 15 Jun 2012, Published: 15 Nov 2012.
- [14] N. Rawat, M.Tech, CSE Uttarakhand Technical University Dehradun, India, A. Garg Assistant Professor Uttarakhand Technical University Dehradun, India, and P. Khulbe M.Tech CSE Uttarakhand Technical University Dehradun, India, *International Journal of Computer Applications (0975 - 8887) Volume 100- No.19, August 2014, Balanced Cluster Lifetime Prolonging Protocol for Wireless Sensor Network.*
- [15] A. S. Zahmati, B. Abolhassani, A. B. Shirazi, and A. S. Bakhtiari, *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering Vol:1, No:4, 2007.*
- [16] R. M. Perianu, *Wireless Sensor Network in Motion: Clustering Algorithms for Service Discovery and Provisioning*, these de doctoral, University of Twente, 2008.
- [17] J. Pottie and K. Sohrabi, *Protocols for self-organisation of a wireless sensor network*, *IEEE Personal Communications*, Volume 7, 2000.
- [18] C. Lu, T. He, J. A. Stankovic and T. Abdelzaber, *SPEED: A stateless protocol for realtime communication in sensor networks*, *Proceedings of the 23<sup>rd</sup> International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, pp. 46-55, 2003.

- [19] D. SIMPLOT-RYL. Some real-time issues in wireless sensor networks. Technical report, IRCICA/LIFL. Université Lille 1 CNRS UMR 8022, INRIA Futurs, Ecole d'été Temps reel, 2005.
- [20] M. ACHIR and L. OUVRY, A routing protocol for wireless ad-hoc sensor networks, Multipath source routing protocol (MPSR), In ICN'05, 4<sup>th</sup> International Conference on Networking (IEEE), Ile de la Réunion, France, Avril 2005.

# *Glossaire*

- APTEEN : Adaptive Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network
- CAN : Convertisseur Analogique-Numérique
- CH : Cluster Head
- CSMA : Carrier Sense Multiple Access
- EDA :Energy Data Agrigation
- EEPSC : Energy-Efficient Protocol with Static Clustering
- GPS : Global Positioning System
- ISO : International Standarization Organization
- LEACH :Low Energy Adaptive Clustering Hirarchical
- PEGASIS : Power-Efficient GAthering in Sensor Information Systems
- QoS : Quality of Service
- RCSFs : Réseaux de Capteurs Sans Fil
- SCH : Super Cluster Head
- TDMA : Time Division Multiplexed Access
- TEEN : Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network
- WSN : Wereless Sensor Network

### *Résumé :*

Le réseau de capteurs sans fil(RCSF) est une technologie émergente qui vise à offrir des capacités innovantes. Leur utilisation ne devrait cesser d'augmenter et ceci dans de nombreux domaines qu'ils soient militaires, scientifiques, ou encore logistiques. Cependant, la taille des capteurs constitue une limitation importante, principalement en terme d'autonomie d'énergie et donc de durée de vie car la batterie doit être très petite, c'est pourquoi de nombreux travaux portent aujourd'hui sur la gestion de l'énergie consommée par les capteurs dans un réseau en prenant en considération, en premier lieu, les communications et les algorithmes de routage des données. C'est dans ce but que nous avons proposé un protocole de routage adaptatif qui est une combinaison de deux grandes approches de routage LEACH et EEPSC.

Afin de confirmer les améliorations apportées par notre algorithme nous avons conduit une simulation, dans laquelle les performances de notre protocole sont évaluées et comparée avec les deux protocoles LEACH et EEPSC.

**Mots-clés:** Réseaux de capteurs sans fil, protocole de routage hiérarchique, minimiser la dissipation d'énergie, LEACH, EEPSC.

### *Abstract :*

The wireless sensor network (WSN) is an emerging technology that aims to offer innovative capabilities. Their use should not stop increasing and this in many areas whether military, scientific, or logistics. However, the sensor size is an important limitation, mainly in terms of energy independence and thus life because the battery needs to be very small, which is why many now work focuses on the management of energy consumed by the sensors in a network by taking into account, first, the communication and data routing algorithms. It is for this purpose that we have proposed an adaptive routing protocol that is a combination of two main approaches LEACH routing and EEPSC.

To confirm the improvements brought by our algorithm we conducted a simulation in which the performance of our protocol are evaluated and compared with both LEACH and EEPSC protocols.

**Keys-words:** Wireless sensor network, hierarchical routing protocol, to minimize a dissipation of energy, LEACH, EEPSC.