

*République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
Scientifique*



*Université 20 Aout 1955 Skikda*



*Faculté des sciences-Département d'informatique*

*Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme  
Master académique en informatique  
Réseau et systèmes distribués (RSD)*

## ***Thème***

***Etude et Comparaison des  
Protocoles de routage dans les réseaux  
de capteur sans fils hétérogènes  
DEEC et E-DEEC***

*Réalisé par*  
**GUERROUT NEDJET**

*Encadré par*  
**Pr. Redjimi mohammed**

**Année universitaire 2021 - 2022**

# Remerciements

*Tout d'abord, je remercie Dieu le tout-puissant de m'avoir  
donné la force nécessaire pour réaliser cet humble travail.*

*Ainsi que notre encadreur Pr. Redjimi Mohammed pour son  
encadrement, son accueil et ses conseils.*

*Nous adressons également mes remerciements aux membres du  
Jurys qui ont accepté d'évaluer ce travail.*

*Merci à tous et toutes.*

# Dédicace

*Je dédie ce travail à :*

*À mes très chers parents*

*Et particulièrement ma chère maman qui s'est sacrifiée durant  
mon parcours.*

*À ma sœur Khouloud, et mon frère Sofiane, et les deux petites  
princesses Maria, Liliane, et ma chère Feryel*

*Sans oublier mes chers amies Aya, Khedidja, Maroua, et Yesmine*

*Et à tous ceux que j'aime.*

*nedjet*

## Résumé

Le travail consiste en une étude de l'état de l'art concernant le domaine des réseaux de capteurs sans fil et spécialement les protocoles hiérarchiques. Une étude plus poussée concernera les réseaux de capteurs hétérogènes où les nœuds capteurs sont classés selon leurs niveaux initiaux d'énergie qui sont différents à l'inverse des réseaux de capteurs homogènes où les niveaux d'énergies sont équivalents (ou jugés tels). On s'intéressera surtout aux deux protocoles DEEC et E-DEEC (pour enhanced DEEC).

La simulation pourra se faire aisément en utilisant le langage MATLAB (surtout pour l'obtention de figures) ou en utilisant d'autres plateformes tel que NS2, NS3, JSIM, OMNET++,...

**Mot clé :** Réseaux de capteurs sans fil (WSN), protocoles hiérarchiques, routage et agrégation de données, réseaux de capteurs sans fil hétérogènes.

### Abstract :

The work consists in a study of the state of the art concerning the field of wireless sensor networks and especially the hierarchical protocols. A more detailed study will concern heterogeneous sensor networks where the sensor nodes are classified according to their initial energy levels which are different from homogeneous sensor networks where the energy levels are equivalent (or considered as such). We will focus on the two protocols DEEC and E-DEEC (for enhanced DEEC).

The simulation can be done easily using the MATLAB language (especially for obtaining figures) or using other platforms such as NS2, NS3, JSIM, OMNET++, ...

**Key words :** Réseaux de capteurs sans fil (WSN), protocoles hiérarchiques, routage et agrégation de données, réseaux de capteurs sans fil hétérogènes.

## Table des matières

Introduction générale .....	1
<u>chapitre 01:généralités sur les réseaux de capteurs sans fil .....</u>	<u>3</u>
1 Introduction générale .....	4
2 Les réseaux de capteurs sans fils (RCSFs).....	4
2.1 Définition d'un réseau capteur .....	4
3 Définitions d'un réseau de capteur sans fil : .....	5
4 Architecture d'un RCSF .....	5
4.1 Nœud .....	5
4.2 Sink.....	5
4.3 Centre de traitement des données :.....	6
5 Caractéristique des RCSF .....	6
6 Architecture matérielle d'un nœud capteur : .....	8
6.1 Unité de captage .....	8
6.2 Unité de traitement .....	8
6.3 Unité de communication .....	8
6.4 Unité d'énergie .....	9
7 Pile protocolaire (Modèle en couches).....	9
7.1 La couche physique .....	10
7.2 La couche liaison.....	10
7.3 La couche réseau .....	10
7.4 La couche transport .....	11
7.5 La couche application.....	11
8 Systèmes d'exploitation pour les capteurs sans fil .....	11

8.1	TinyOs.....	11
8.2	Contiki.....	12
8.3	MANTIS.....	12
8.4	Nano-RK .....	12
8.5	LiteOS .....	13
8.6	SOS.....	13
9	Types d'architecture des RCSF : .....	14
9.1	RCSF plats « flat » : .....	14
9.2	RCSF hiérarchique « hierarchical » : .....	14
10	Topologie des RCSF : .....	15
10.1	Topologie en étoile :.....	15
10.2	Topologie en grille (ou maillée):.....	15
10.3	Topologie arbre « cluster-tree : .....	15
11	Domaines d'application des RCSF : .....	16
11.1	Domaine militaire :.....	16
11.2	Domaine médicale :.....	16
11.3	Domaine environnemental/industriel :.....	16
11.4	Domaine commercial : .....	17
12	Conclusion.....	17
<u>chapitre 02: les protocoles de routage dans les RCSF .....</u>		<u>18</u>
1	Introduction :.....	19
2	Protocole de routage : .....	19
2.1	L'objectif de protocole de routage :.....	19
3	Classification des protocoles de routage dans RCFS :.....	20

3.1	Classification selon la structure du réseau : .....	20
3.1.1	Protocoles plats :.....	20
3.1.2	Protocole hiérarchique :.....	21
3.1.3	Protocoles de routage avec localisation géographique :.....	22
3.2	Classification selon les fonctions des protocoles .....	22
3.3	Classification selon l'établissement de la route .....	23
3.3.1	Protocole proactif : .....	23
3.3.2	Protocole réactif :.....	23
3.3.3	Protocole hybride :.....	23
3.3.4	Classification selon l'initiateur de communication .....	24
3.3.5	Protocole Centré nœuds :.....	24
3.3.6	Protocole Centré-données :.....	24
4	Les critères de performance des protocoles de routage RSCSF : .....	25
4.1	Facteurs d'échelle :.....	25
4.2	L'énergie : .....	25
4.3	Le temps de traitement :.....	25
4.4	Le schéma de transmission :.....	25
4.5	La capacité du réseau : .....	25
4.6	Synchronisation :.....	26
4.7	Paquets de Contrôle :.....	26
5	Facteurs de conception de protocoles de routage : .....	26
5.1	Tolérance aux pannes :.....	26
5.2	Consommation d'énergie : .....	26
5.3	Limitations de capacités des nœuds : .....	26

5.4	Scalabilité :	27
5.5	Connectivité :	27
5.6	Hétérogénéité :	27
6	Conclusion :	27
<u>chapitre 03: le routage hiérarchique dans les réseaux de capteurs sans fil</u>		<u>28</u>
1	Introduction :	29
2	Le routage hiérarchique :	29
3	Caractéristiques des protocoles hiérarchiques :	29
3.1	Le clustering :	29
3.2	Cluster :	30
3.3	Cluster-Head :	30
3.4	Station de base :	30
3.5	L'élection des CHs :	30
3.6	Communication inter-cluster	31
3.7	Communication intra-cluster :	31
5	DEEC (Distributed Energy Efficient Clustering) :	32
5.1	Caractéristiques de DEEC	34
6	EDEEC (Enhanced Distributed Energy Efficiency Clustering) :	35
6.1	Modèle de réseau hétérogènes :	35
6.2	Propriétés du protocole EDEEC	36
7	Algorithme de simulation :	37
8	Organigramme de l'algorithme DEEC et EDEEC :	38
9	Conclusion	38
<u>chapitre 04:implémentation et comparaison de protocoles DEEC et E-DEEC</u>		<u>39</u>

1	Introduction.....	40
2	Environnement de développement.....	40
2.1	Matériel utilisé.....	40
2.2	Logiciel utilisé.....	40
2.2.1	Présentation du Matlab .....	40
3	Simulation.....	42
	<u>conclusion générale.....</u>	<u>45</u>
	<u>bibliographie .....</u>	<u>47</u>

### **Liste des figures :**

Figure 1.1 :	Capteur sans fil.....	4
Figure 1.2 :	Architecture de communication d'un RCSF.....	6
Figure 1.3:	Composants d'un Nœud de Capteur .....	9
Figure1. 4:	La pile Protocolaire dans Les RCSFs.....	10
Figure 1.5:	Architecture Plat d'un RCSF.....	14
Figure 1.6:	Architecture hiérarchique d'un RCSF].....	14
Figure 1.7 :	Topologie Etoile .....	15
Figure 1.8:	Topologie en grille .....	15
Figure 1.9:	Topologie Cluster-Tree .....	16
Figure 2. 1 :	protocole plat.....	21
Figure 2. 2 :	Protocole hiérarchique.....	21

Figure2. 3 : Protocole de Routage avec Localisation Géographique .....	23
Figure3.1 : Communication Inter-CH et Intra-CH.....	31
Figure 3.2 : Organigramme de l’algorithme DEEC et EDEEC .....	40
Figure 4.1 : Logo Matlab 2009 .....	45
Figure 4.2 : Editeur de script du programme de simulation sous Matlab 2009 .....	45
Figure 4.3 : Exemple de déploiement dans un réseau de capteurs sans fil .....	46
Figure4 .4 : Nombre de nœuds vivants .....	47
Figure 4.5- Nombre de paquets transmis .....	48

### **Liste des tableaux :**

<b>Tableau 4.1.</b> Paramètres de simulation.....	45
---	----

---

---

# *Introduction générale*

---

---

Depuis leur création, les réseaux sans fil ne cessent de connaître un succès croissant au sein des communautés scientifiques et industrielles. Au cours de leurs évolutions, ils ont donné naissance à diverses architectures telles que les réseaux cellulaires, les réseaux locaux sans fil, les réseaux Ad hoc, etc.

Durant ces deux dernières décennies, une nouvelle architecture appelée Réseau de Capteur Sans Fil (RCSF) a vu le jour. Le développement de la technologie dans le domaine des RCSF a connu une ascension positive au cours de ces dernières années. C'est ainsi que les réseaux de capteurs sans fil ont provoqué un intérêt certain dans le monde scientifique se traduisant par une avancée technologique considérable notamment dans les domaines militaire, médical, environnemental etc....

Les réseaux capteurs sans fil RCSFs peuvent être définis comme des réseaux sans fil autoconfigurés et sans infracteur pour surveiller les conditions physiques ou environnementales, telles que la température, le son, les vibrations, la pression...etc. Malgré les avancées remarquables dans ce domaine, il reste encore beaucoup de problèmes à résoudre. Ainsi, de nombreux protocoles de routage ont été proposés basé sur l'hétérogénéité avec les principaux objectifs de recherche tels qu'atteindre l'efficacité énergétique, la durée de vie, le déploiement des nœuds, tolérance aux pannes, latence, bref haute fiabilité et robustesse.

Dans ce mémoire, nous allons nous intéresser aux problèmes relatifs au routage de données sur les RCSFs et plus précisément le routage hiérarchique. Le routage hiérarchique est considéré comme un outil offrant plus de performance en ce qui concerne la consommation d'énergie par rapport aux autres types de routage.

Le routage hiérarchique est un routage basé sur un cluster dans quels nœuds de haute énergie sont sélectionnés au hasard pour traiter et envoyer des données pendant que les nœuds à faible

énergie sont utilisés pour détecter et envoyer des informations aux chefs de cluster. La technique de clustering permet au réseau de capteurs de fonctionner plus efficacement. Cette technique augmente la consommation d'énergie de réseau de capteurs et donc la durée de vie.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés au protocole de routage hiérarchique DEEC (Distributed Energy Efficient Cluster ING), DEEC est un protocole d'efficacité énergétique bien connu pour les RCSFs hétérogènes. Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons les réseaux de capteur sans fil, leurs caractéristiques, ainsi que leurs architectures et ses domaines d'application, enfin nous aborderons les problématiques liées aux RCSFs
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons les protocoles de routage et leur classification dans les RCSFs ainsi que leurs caractéristiques qui permettent de différencier les protocoles de routage.
- Le troisième chapitre est une présentation de la problématique du routage hiérarchique dans les RCSFs. En se focalisant sur les protocoles hétérogènes DEEC et EDEEC, leurs fonctionnements et caractéristiques.

Enfin nous terminons notre mémoire avec une conclusion générale

***Chapitre 1:***  
***Généralités sur les Réseaux de capteurs***  
***sans fil***

# 1 Introduction

Ces dernières années la technologie s'est développée vertigineusement, la tendance de réseaux informatique et de télécommunication : les réseaux de capteurs sans fil (RCSF).

Le concept des RCSFs est bien résoudre les problèmes particuliers comparativement aux réseaux sans fil sont composés d'équipements à ressources limitées en termes de calcul, de stockage et d'énergie.

Dans ce chapitre nous allons présenter les RCSFs ainsi que leurs architectures, caractéristiques, notion d'un nœud capteur et ses domaines d'application., les types des RCSFs et enfin les différents topologies existe .

## 2 Les réseaux de capteurs sans fils (RCSFs)

### 2.1 Définition d'un réseau capteur

Un réseau de capteurs est une infrastructure de détection (mesure) composée d'éléments de traitement et d'éléments de communication qui donnent à un administrateur la possibilité d'observer, et réagir à des événements et à des phénomènes dans un environnement spécifié.

L'administrateur est généralement une entité civile, gouvernementale, commerciale ou industrielle.

L'environnement peut être le monde physique, un système biologique ou un cadre de technologie de l'information (IT). [1]



**Figure 1.1 :** Capteur sans fil

### **3 Définitions d'un réseau de capteur sans fil :**

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 RCSF**

Un réseau de capteur sans fils est composé de plusieurs nœuds capteur, d'un nœud sink et un centre de traitement de donnée.

#### **4.1 Nœud**

Un nœud capteur est composé principalement d'un processeur, une mémoire, un émetteur/récepteur radio, un ensemble de capteurs et une pile. Il existe plusieurs modèles commercialisés dans le marché, par exemple : « MICAX » et « TelosBe de Crossbow ».

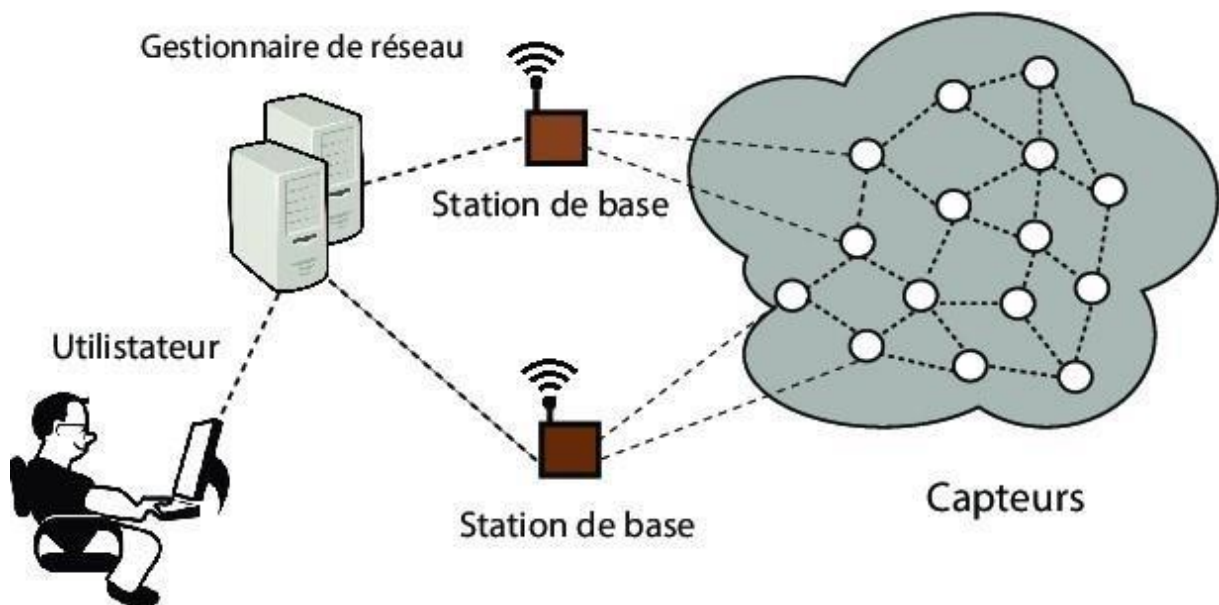
#### **4.2 Sink**

C'est un nœud particulier du réseau : Il est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds du réseau. Il doit être toujours actif puisque l'arrivée des informations est aléatoire. C'est pourquoi son énergie doit être illimitée. Dans un réseau de capteur sans fil plus ou moins large et à charge un peu élevée, on peut trouver deux sinks ou plus pour alléger la charge. Il y a essentiellement trois types de sink :

- Un nœud appartenant au réseau comme n'importe quel autre nœud.
- Une entité extérieure au réseau, pour ce deuxième cas, le sink peut être un dispositif extérieur
- Une passerelle vers un autre réseau tel qu'internet. [2]

### 4.3 Centre de traitement des données :

C'est le centre vers lequel les données collectées par le sink sont envoyées. Ce centre a le rôle de regrouper les données issues des nœuds et les traiter de façon à en extraire l'information utile exploitable. Le centre de traitement peut être éloigné du sink, donc les données faut être transférées à travers un autre réseau alors il faut d'introduire une passerelle entre le sink et le réseau de transfert pour adapter le type du canal.



**Figure 1.2 :** Architecture de communication d'un RCSF.

## 5 Caractéristique des RCSF

Un réseau de capteurs présente les caractéristiques suivantes :

### - Absence d'infrastructure :

Les réseaux Ad-hoc en général et les réseaux de capteurs en particulier se distinguent des autres réseaux par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et de tout genre d'administration centralisée.

- **Taille importante :**

Un réseau de capteurs peut contenir des milliers de nœuds.[3]

- **Interférences :**

Les liens radio ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence, ou utilisant des fréquences proches, peuvent interférer. [3]

- **Topologie dynamique :**

Les capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent d'une façon libre et arbitraire rendant ainsi la topologie du réseau fréquemment changeante.[3]

- **Sécurité physique limitée :**

Les réseaux de capteurs sans fil sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé. [3]

- **Bande passante limitée :**

Une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé. Ce partage fait que la bande passante réservée à un nœud est limitée.[3]

- **Contrainte d'énergie, de stockage et de calcul :**

La caractéristique la plus critique dans les réseaux de capteurs est la modestie de ses ressources énergétiques car chaque capteur du réseau possède de faibles ressources en termes d'énergie (batterie).

Afin de prolonger la durée de vie du réseau, une minimisation des dépenses énergétiques est exigée chez chaque nœud. Ainsi, la capacité de stockage et la puissance de calcul sont limitées dans un capteur. [3]

## **6 Architecture matérielle d'un nœud capteur :**

Un nœud capteur est composé de quatre unités de base : Unité de captage, unité de traitement, Unité de communication, Unité d'énergie.

### **6.1 Unité de captage**

Elle est composée d'une collection de différents types des capteurs nécessaires pour mesurer différents phénomènes de l'environnement physique. Les capteurs sont sélectionnés en fonction de l'application. La sortie du capteur est un signal électrique analogique. Ainsi, le convertisseur analogique-numérique (ADC) est utilisé pour transformer le signal en numérique pour communiquer avec le microcontrôleur. [4]

### **6.2 Unité de traitement**

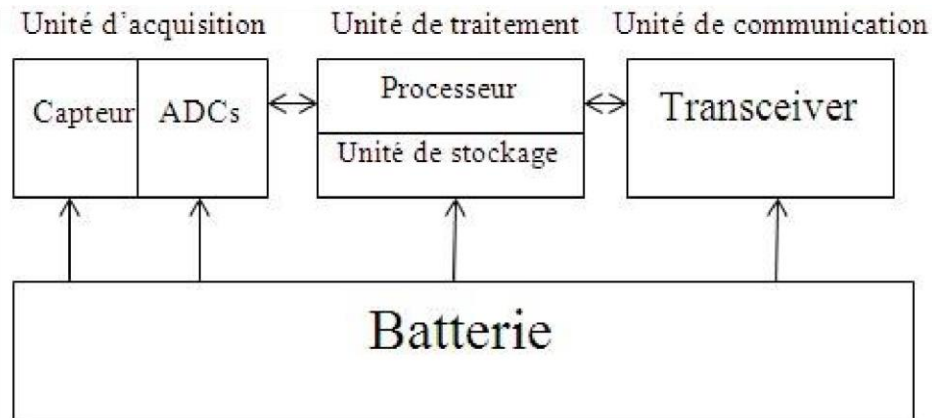
Elle se compose d'un processeur (microcontrôleur) et stockage (RAM). De plus, il a des systèmes d'exploitation comme ainsi que la minuterie. La responsabilité de l'unité de traitement comprend la collecte de données provenant de diverses sources que le traitement et stockage. La minuterie est utilisée pour faire le séquençage pour la séquence. [5]

### **6.3 Unité de communication**

Elle utilise un émetteur-récepteur qui se compose d'un émetteur ainsi qu'un récepteur. La communication est effectuée via les canaux de communication en utilisant le protocole réseau. Sur la base des exigences de l'application et pertinence afin de communiquer il utilise normalement méthode telle que la communication radio, infrarouge ou optique. [6]

## 6.4 Unité d'énergie

Fournir l'énergie vers le nœud de capteur pour surveiller l'environnement à un faible coût et moins de temps. La durée de vie du capteur dépend de la batterie ou générateur électrique connecté à unité d'alimentation. L'unité d'alimentation est nécessaire pour une utilisation efficace de la batterie. [7]



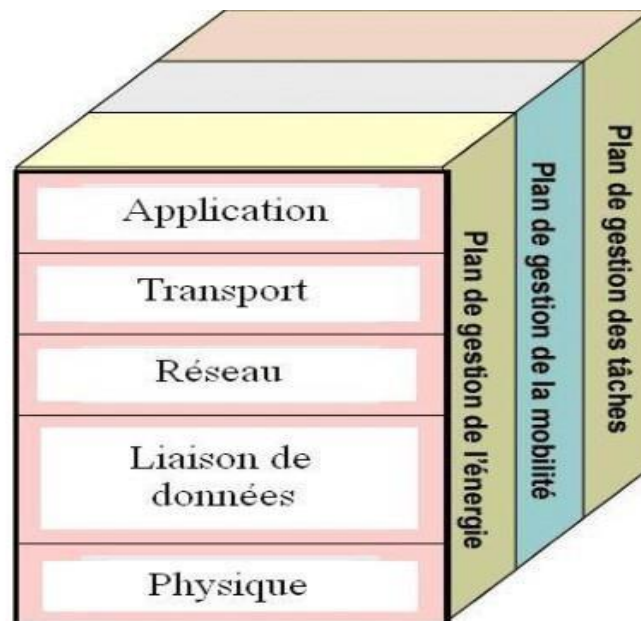
**Figure 1.3:** Composants d'un Nœud de Capteur.

## 7 Pile protocolaire (Modèle en couches)

Le rôle de cette pile consiste à normaliser la communication entre les composants du réseau pour que plusieurs constructeurs puissent développer des produits compatibles. Elle se compose de 5 couches : la couche application, la couche transport, la couche réseau, la couche liaison de données et la couche physique ; ainsi que 3 plans de gestion : le plan de gestion des tâches qui permet de bien affecter les tâches aux nœuds capteurs, le plan de gestion de mobilité qui garde une image sur la localisation des nœuds pendant la phase de routage, et le plan de gestion de l'énergie qui permet de préserver le maximum d'énergie.

Le but d'un système en couches est de séparer le problème en différentes parties selon leur niveau d'abstraction. Chaque couche du modèle communique avec une couche adjacente.

Chaque couche utilise ainsi les services des couches inférieures et en fournit à celle de niveau supérieur.



**Figure1. 4:** La pile Protocolaire dans Les RCSFs

### **7.1 La couche physique**

Spécifications des caractéristiques matérielles, des fréquences porteuses, etc...

### **7.2 La couche liaison**

Spécifie comment les données sont expédiées entre deux nœuds/routeurs dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au media, Elle assure la liaison point à point et multipoint dans un réseau de communication. [8]

### **7.3 La couche réseau**

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

- il n'est pas possible d'établir un système d'adressage global vu le grand nombre de nœuds.

- les applications des réseaux de capteurs exigent l'écoulement des données mesurées de sources multiples à un puits particulier.
- les multiples capteurs peuvent produire de mêmes données à proximité d'un phénomène (redondance).
- les nœuds capteur exigent ainsi une gestion soigneuse des ressources. En raison de ces différences, plusieurs nouveaux algorithmes ont été proposés pour le problème de routage dans les réseaux de capteurs. [8]

## **7.4 La couche transport**

Cette couche est chargée du transport des données, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission. [8]

## **7.5 La couche application**

Cette couche assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels. [8]

# **8 Systèmes d'exploitation pour les capteurs sans fil**

## **8.1 TinyOs**

C'est un système d'exploitation open source, flexible, basé sur des composants et spécifique à une application conçu pour les réseaux de capteurs.

TinyOs peut prendre en charge des programmes simultanés avec une mémoire très faible conditions. Le système d'exploitation a une empreinte qui tient dans 400 octets. La bibliothèque de composants

Chapitre 1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil 15 TinyOs comprend protocoles réseau, services distribués, pilotes de capteurs et outils d'acquisition de données. [9]

## 8.2 Contiki

Contiki est un système d'exploitation open source qui fonctionne sur de minuscules microcontrôleurs bas consommation et permet de développer des applications qui utilisent efficacement le matériel tout en fournissant une communication sans fil standardisée à faible puissance pour une gamme de plates-formes matérielles. Contiki est utilisé dans de nombreux systèmes commerciaux et non commerciaux, tels que la surveillance du son de la ville, les lampadaires, les compteurs d'énergie électrique en réseau, la surveillance industrielle, la surveillance des rayonnements, la surveillance des chantiers de construction, les systèmes d'alarme, la surveillance à distance des maisons...etc. [10]

## 8.3 MANTIS

MANTIS OS vise une faible empreinte mémoire, facile à architecture du programme et prise en charge de plusieurs threads préemptifs. Il suit une programmation threadée prioritaire modèle similaire au POSIX classique avec un ordonnanceur basé sur priorités et une politique de roundrobin pour les threads avec même priorité. L'OS se compose d'un noyau avec planificateur intégré, un serveur de commande et un système de pilote de périphérique. Ça supporte exclusion mutuelle et sémaphores. Il intègre également une pile de communications de bas niveau pour les interfaces de communication série et radio, y compris une couche MAC et une couche d'abstraction de périphérique qui fournit un accès uniforme aux Chapitre 1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil 16 périphériques. MANTE Le système d'exploitation est principalement implémenté en C et plusieurs ports existent pour différentes plates-formes. [11]

## 8.4 Nano-RK

Nano-RK est un système d'exploitation multitâche fixe et préemptif en temps réel pour les WSN. Les objectifs de conception pour Nano-RK sont multitâches, prise en charge de la mise en réseau multi-sauts, prise en charge de la planification basée sur les priorités, rapidité et planification, durée de vie de RCSF étendue, limites d'utilisation des ressources d'application et empreinte. Nano-RK utilise 2

Ko de RAM et 18 Ko de ROM. Nano-RK prend en charge le processeur, capteurs et réservations de bande passante réseau. Nano-RK prend en charge les applications en temps réel dures et douces au moyen de différents algorithmes d'ordonnancement en temps réel, par exemple, l'ordonnancement monotone de débit et le débit programmation harmonisée. Nano-RK fournit une prise en charge réseau via une abstraction de type socket. Nano-RK prend en charge les plates-formes de détection FireFly et MicaZ. [12]

## 8.5 LiteOS

Est un système d'exploitation de type Unix-like conçu pour les RCSFs de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign. Les motivations derrière la conception d'un nouveau système d'exploitation pour WSN sont de fournir un Système d'exploitation de type Unix pour WSN, offre aux programmeurs système un paradigme de programmation familier(mode de programmation basé sur les threads, bien qu'il prenne en charge l'enregistrement des gestionnaires d'événements à l'aide de callbacks), un système de fichiers hiérarchique, prise en charge de la programmation orientée objet sous la forme de LiteC ++,et un shell de type Unix.

L'empreinte de LiteOS est suffisamment petite pour fonctionner sur des nœuds MicaZ ayant un 8 MHz CPU, 128 octets de mémoire flash de programme et 4 Ko de RAM. LiteOS est principalement composé de trois composants: LiteShell, LiteFS et le noyau. [12]

## 8.6 SOS

Est un nouveau système d'exploitation pour mote-class nœuds de capteur prenant en charge la reconfiguration à l'exécution de logiciel embarqué. L'architecture de SOS se compose de modules chargés dynamiquement et une compilation statique noyau. Une application dans SOS est composée d'un ou plusieurs modules interagissant via des messages asynchrones ou des appels de fonction. Les modules sont indépendants de la position binaire qui implémente Chapitre 1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil 17 une tâche ou une fonction spécifique. Ils fonctionnent sur leur propre

état qui est alloué dynamiquement à l'exécution. Des exemples de modules sont les protocoles de routage, pilotes de capteur et programmes d'application, etc. [13]

## 9 Types d'architecture des RCSF :

### 9.1 RCSF plats « flat » :

Un RCSF plat est un réseau homogène, où tous les nœuds disposent des mêmes capacités dans la communication, captage d'information et un sink différent puisque il joue le rôle de passerelle chargée de transmettre les informations collectées à l'utilisateur [14].

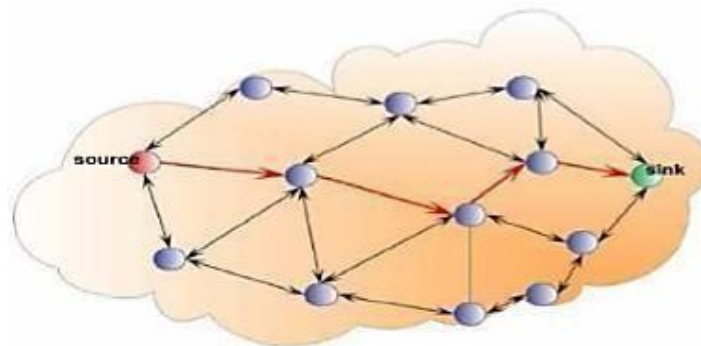


Figure 1.5: Architecture Plat d'un RCSF

### 9.2 RCSF hiérarchique « hierarchical » :

C'est un réseau hétérogène où les nœuds peuvent disposer d'une source énergétique d'une portée de communication ou d'une puissance de calcul différente les uns des autres [14]

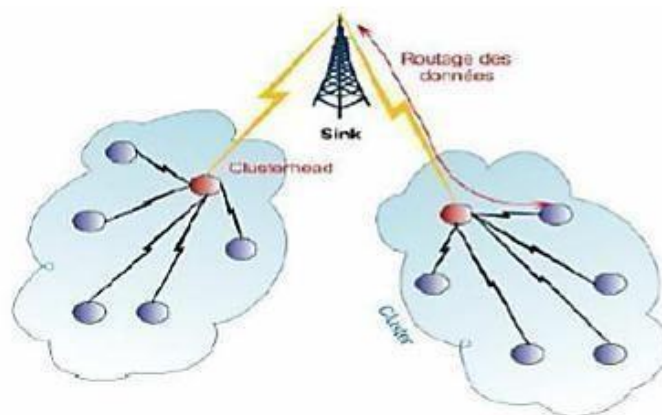


Figure 1.6: Architecture hiérarchique d'un RCSF]

## 10 Topologie des RCSF :

### 10.1 Topologie en étoile :

Dans cette topologie une station de base peut envoyer ou recevoir un message à certain nombre de nœuds. Ces nœuds peuvent seulement envoyer ou recevoir un message de l'unique station de base, il ne leur est pas permis de s'échanger des messages [14].

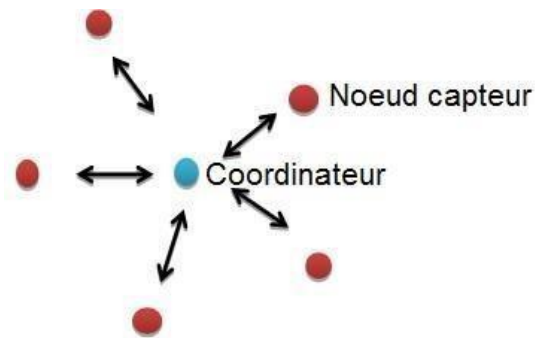


Figure 1.7 : Topologie Etoile

### 10.2 Topologie en grille (ou maillée):

Dans cette topologie, n'importe quel nœud peut envoyer à n'importe quel nœud dans le réseau qui est dans la portée de transmission. Ceci est appelé la communication multi saut [14]

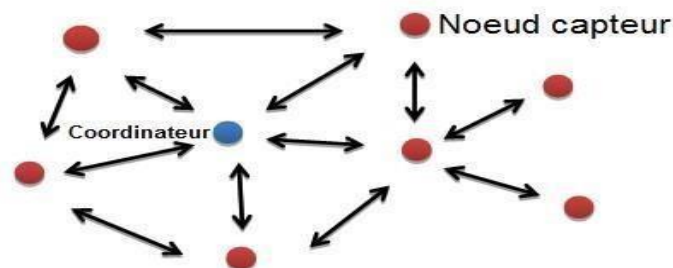


Figure 1.8: Topologie en grille

### 10.3 Topologie arbre « cluster-tree » :

Elle est partitionnée en groupe appelés **clusters**. Un cluster est constitué d'un nœud particulier appelé tête de cluster (cluster head) et d'autres nœuds. Ces derniers ne communiquent qu'avec leur « cluster-head ». Ce dernier est ensuite en charge de faire suivre les messages reçus vers le puits de réseau cette

topologie est alors hiérarchisée selon le rôle des éléments du réseau (ordinateur, têtes de cluster, nœuds )[14]

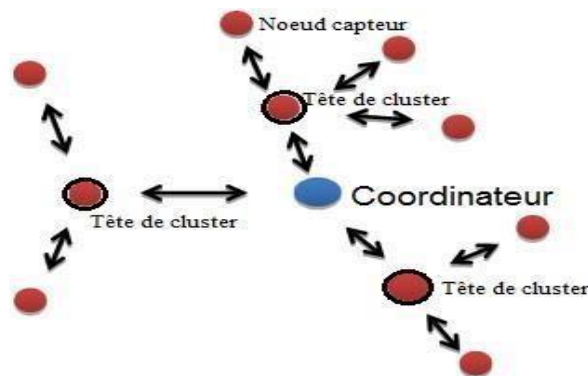


Figure 1.9: Topologie Cluster-Tree

## 11 Domaines d'application des RCSF :

### 11.1 Domaine militaire :

Le domaine militaire est le premier domaine dont on a utilisé le développement des réseaux de capteurs, pour développer les bombes .... etc.

### 11.2 Domaine médicale :

RCSFs offre une interface auxiliaire pour les personnes handicapées, collectant des informations physiologiques humaines de meilleure qualité, facilitant ainsi le diagnostic de certaines maladies, et assurant un suivi permanent des patients et des médecins au sein de l'hôpital.

### 11.3 Domaine environnemental/industriel :

Les capteurs peuvent être utilisés pour détecter les catastrophes naturelles (feux de forêt, tremblements de terre, etc.) et pour détecter les émanations de produits toxiques (gaz, produits chimiques, pétrole, etc.) sur des sites industriels tels que des centrales nucléaires ou des compagnies pétrolières.

### **11.4 Domaine commercial :**

Dans ce secteur, nous pouvons énumérer de nombreuses applications telles que : la surveillance de l'état des matériaux, le contrôle et l'automatisation des processus de fabrication, etc.

## **12 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté brièvement les réseaux capteurs sans fil (RCSFs), avec leur différent type avec les types d'architectures, les protocoles utilisés sans oublier leurs caractéristiques et le model de couche utilisé dedans. Les caractéristiques comme la consommation d'Energie réduite, la scalabilité ou le routage besoin de concevoir des nouveaux protocoles de routage, de sécurité, de transport ou d'application, qui s'adapteront aux caractéristiques des RCSF. Et c'est ce dont nous parlerons dans le chapitre suivant.

==== *Chapitre 2 :* =====  
== *Les protocoles de routage dans* ==  
*les RCSF*

# 1 Introduction :

Les protocoles de routage pour les réseaux de capteurs sans fil ont été largement étudiés et diverses études ont été publiées. Ces protocoles doivent garantir que les informations circulent entre n'importe quel nœud du réseau et la station de base à un moindre coût énergétique. Dans les réseaux de capteurs, chaque nœud joue le rôle de source et de relais. En conséquence, une panne de courant du capteur peut changer radicalement la topologie du réseau, de sorte que les coûts énergétiques doivent être réduits au minimum, car la puissance est une limitation majeure dans les réseaux de capteurs.

Ce chapitre est organisé de la manière suivante : en premier lieu nous présenterons les protocoles de routage et leurs classifications dans les RCSFs ainsi que leurs caractéristiques qui permettent de différencier les protocoles de routage.

## 2 Protocole de routage :

Le routage consiste à trouver un chemin pour envoyer le message de la source à la destination. Dans le cadre des RCSFs, il doit être efficace en énergie. Pour cela, il faut bien sûr être capable de trouver un chemin qui ne consomme pas trop d'énergie, qui ne soit pas trop long également. [15]

### 2.1 L'objectif de protocole de routage :

Le routage est le mécanisme par lequel des chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'une source jusqu'à un ou plusieurs destinataires peut se résumer en cinq points

- Découvrir dynamiquement les routes vers les sous réseaux d'un réseau et les inscrire dans une table de routage
- S'il existe plusieurs routes vers un sous réseau, inscrire la route la meilleure (la plus courte) ;
- Détecter les routes qui ne sont plus valides et les supprimer de la table ; si le réseau dont le chemin est supprimé peut-être accédé par le biais d'un autre routeur, inscrire ce nouveau chemin dans la table en remplacement du chemin supprimé. Chapitre 2 les protocoles de routage dans les RCSFs .

- Ajouter le plus rapidement possible de nouvelles routes, ou mettre à jour le plus vite possible les routes considérées comme meilleures : le temps qui s'écoule entre la perte d'une route et la découverte d'une autre route s'appelle le temps de convergence.
- Empêcher les boucles de routage [16]

### **3 Classification des protocoles de routage dans RCFS :**

Récemment, les protocoles de routage pour les RCFS ont été largement étudiés. Les approches proposées présentent des points communs et donc peuvent être classifiées suivant un certain nombre de critères. La figure 2.1 ci-dessous résume une classification qui se base sur quatre critères : la structure du réseau, les fonctions des protocoles, l'établissement de la route et l'initiateur de communication [17].

#### **3.1 Classification selon la structure du réseau :**

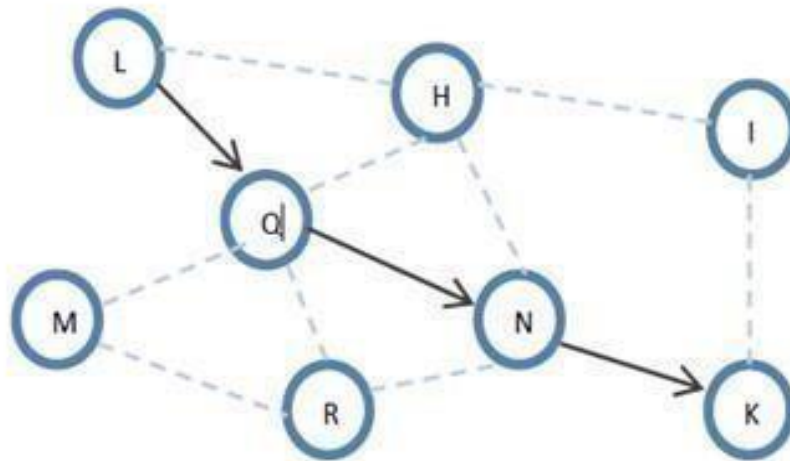
La topologie détermine l'organisation logique adaptée par les protocoles de routage afin d'exécuter les différentes opérations de découverte de routes et de transmission de données.

Elle joue un rôle significatif dans le fonctionnement d'un protocole. Les protocoles de cette classe peuvent être classifiés en trois catégories : protocole à plat, protocole hiérarchique et protocole basé sur la localisation géographique [18].

##### **3.1.1 Protocoles plats :**

Appelé également routage centré données (data centric) où tous les nœuds ont les mêmes tâches à accomplir. C'est la première approche utilisée dans l'acheminement des données dans les RCFS.

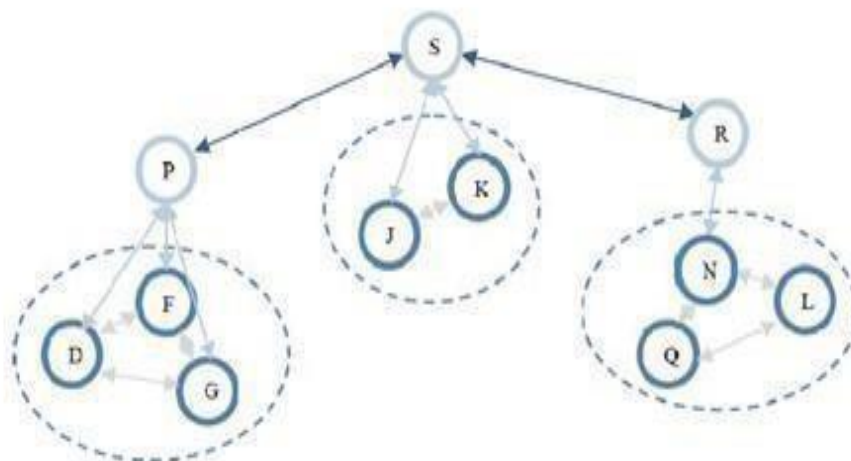
Elle se base sur la collaboration de tous les nœuds du réseau [18].



**Figure 2. 1: protocole plat**

### 3.1.2 Protocole hiérarchique :

Une des méthodes les plus utilisées dans cette topologie est le clustering. Il consiste en un partitionnement du réseau en groupes appelés clusters. Un cluster est constitué d'un chef (clusterhead) et de ses membres. Suivant l'application, les membres peuvent être des voisins directs du chef ou pas. Cette topologie présente beaucoup d'avantage, tel que l'agrégation des données collectées ainsi qu'une grande scalabilité [18].



**Figure 2. 2: Protocole hiérarchique**

### 3.1.3 Protocoles de routage avec localisation géographique :

Dans ce type de routage, les nœuds capteurs sont adressés en fonction de leurs localisations. L'idée des protocoles de routage géographique est d'utiliser des informations géographiques pour acheminer les paquets. Pour simplifier la présentation pour la maintenance ainsi que pour le transfert de données.

Ce type de protocoles, chaque nœud du réseau connaît sa position et celle de ses voisins. Le positionnement du nœud peut être obtenu en utilisant un système géo-positionnement tel que le GPS ou bien via des algorithmes de positionnement relatif. Il peut donc calculer sa distance et celle de ses voisins à la destination et envoie l'information à son voisin qui le rapproche le plus de la destination finale.[19][20]

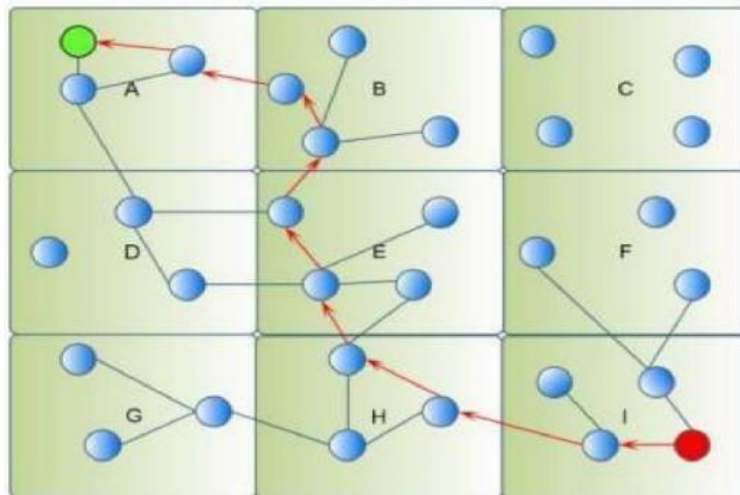


Figure2.3 : Protocole de Routage avec Localisation Géographique

## 3.2 Classification selon les fonctions des protocoles

Le mode de fonctionnement définit la manière avec laquelle les données sont propagées dans le réseau. Selon ce critère, les réseaux de capteurs sans fils peuvent être regroupés en quatre catégories

:

- Routage multi-chemins (Multipath).
- Routage basé sur les requêtes.
- Routage basé sur la négociation (Négociation based routing).
- Routage basé sur la Qualité de service 'QoS' (Quality of service 'Qos ' based routing)[21].

### **3.3 Classification selon l'établissement de la route**

On distingue plusieurs protocoles classés selon l'établissement de la route :

#### **3.3.1 Protocole proactif :**

Ces protocoles de routage tentent de maintenir le meilleur chemin existant vers toutes les destinations possibles sur chaque nœud du réseau. Même si l'itinéraire n'est pas utilisé, il sera enregistré. Indépendamment de l'utilité du routage, chaque nœud du réseau maintient une table de routage pour toutes les destinations. Les protocoles proactifs conviennent aux applications qui doivent collecter des données de manière régulière. Par conséquent, les capteurs peuvent se mettre en veille pendant les périodes d'inactivité, et leurs dispositifs de capture ne le sont qu'à certains moments [22].

#### **3.3.2 Protocole réactif :**

Également appelé routage à la demande, le routage réactif permet de créer des routes en fonction des besoins de l'application. Lorsqu'une requête est diffusée sur le réseau, le processus de découverte de route est initié par le nœud associé à la requête, et la réponse est routée sur la route créée. Pour chaque événement d'intérêt détecté, ce processus est également lancé pour l'application événementielle (application événementielle). L'avantage du routage à la demande est qu'il est plus économe en énergie que le routage actif. La recherche de routes entraîne des retards dans le flux de données, ce qui ne convient pas aux applications interactives et en temps réel [22].

#### **3.3.3 Protocole hybride :**

Ces protocoles combinent les deux idées de protocoles actifs et passifs. Ils utilisent des protocoles proactifs pour se renseigner sur les voisins (par exemple, les quartiers à deux ou trois sauts), de sorte qu'ils ont immédiatement des itinéraires dans le quartier. En dehors de la zone voisine, le protocole hybride utilise un protocole réactif pour rechercher des routes [2.2].

### **3.3.4 Classification selon l'initiateur de communication**

Le paradigme de communication est déterminé par les contraintes sous lesquelles les nœuds du réseau sont interrogés. Dans les RCSF, il peut être classé comme étant entre nœuds, centré données et basés-localisation [23].

#### **3.3.5 Protocole Centré nœuds :**

Ce modèle est utilisé dans les réseaux conventionnels où il est important de connaître les nœuds communicants. Cependant, ce paradigme ne reflète pas la vision des RCSF quant à leurs applications où la donnée transmise est plus importante que l'émetteur. Néanmoins, le paradigme centré-nœuds n'est pas totalement écarté, car certaines applications nécessitent une interrogation individuelle des nœuds [23].

#### **3.3.6 Protocole Centré-données :**

Ce modèle est utilisé dans les réseaux où il n'existe pas un système d'identification global, toutes les communications sont identifiées par leurs données l'interrogation et le routage doivent être réalisés en se basant sur cette propriété. Le réseau peut être vu comme une base de données distribuée où les nœuds forment des tables virtuelles alimentées par les données captées. Le protocole Directe Diffusion est considéré comme l'un des protocoles de référence dans le routage centré-données [23].

\* Ce paradigme est utilisé dans les applications où il est plus intéressant d'interroger le système en se basant sur la localisation des nœuds, et où on peut tirer profit des positions des nœuds pour prendre des décisions qui minimisent le nombre de messages transmis pendant le routage.

Avant d'envoyer ses données à un nœud destination le nœud source utilise un mécanisme pour déterminer sa localisation. Il est donc nécessaire de se pencher sur une solution de localisation géographique dont le degré de précision dépend de l'application visée [23].

Il existe deux techniques de localisation : absolue où on peut utiliser un système GPS (Global

Positioning System) ou, relative où les nœuds sont localisés approximativement suivant la direction ou la durée lors d'une transmission [24].

## **4 Les critères de performance des protocoles de routage RCSF :**

La performance des réseaux de capteurs sans-fil est fondée sur les facteurs :

### **4.1 Facteurs d'échelle :**

Le nombre de nœuds déployés pour une application peut atteindre des milliers. Dans ce cas, le réseau doit fonctionner avec des densités de capteurs très grandes.

- Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter-cluster et nécessite que la station de base soit équipée de mémoire suffisante pour stocker les informations reçues.[25]

### **4.2 L'énergie :**

Chaque nœud utilise peu d'énergie pour des activités telles que la détection, le traitement, le stockage et la transmission. Un nœud dans le réseau doit savoir combien d'énergie sera utilisée pour effectuer une nouvelle tâche à laquelle il est soumis. L'énergie consommée peut varier selon le type de fonctionnalité ou l'activité qu'il a à accomplir. [25]

### **4.3 Le temps de traitement :**

Il se réfère au temps pris par le nœud dans le réseau pour assurer l'ensemble de l'opération commençant par la détection, le traitement des données ou le stockage de données, la transmission ou la réception. [25]

### **4.4 Le schéma de transmission :**

La transmission de données par les nœuds de capteurs vers la destination ou la station de base se fait par un schéma de routage à un seul saut ou à multi saut. [25]

### **4.5 La capacité du réseau :**

Tous les nœuds du réseau de capteurs utilisent certaines ressources du réseau qui les aident à accomplir certaines activités comme la détection ou la transformation. [25]

## **4.6 Synchronisation :**

Dans les communications radio entre les nœuds de capteurs d'un WSN, les capteurs écoutent en permanence les transmissions et consomment de l'énergie s'ils n'ont pas synchronisé les uns les autres. Pour cela, un nœud doit avoir la même notion de temps pour se mettre en veille et se réveiller que ses voisins. [25]

## **4.7 Paquets de Contrôle :**

Un paquet envoyé avant la transmission entre deux nœuds est appelé le paquet de contrôle. Le paquet de contrôle contient le nombre de bits de données envoyés, l'adresse du nœud de destination et certaines informations qui contribuent à éviter les collisions pendant la transmission.[25]

# **5 Facteurs de conception de protocoles de routage :**

## **5.1 Tolérance aux pannes :**

La propriété de tolérance aux pannes est définie par l'aptitude du protocole de routage à maintenir ses fonctionnalités, en cas de panne de quelques nœuds. Le but de la tolérance aux pannes est d'éviter la faille totale du système malgré la présence de fautes dans un sous ensemble de ses composants élémentaires. [26].

## **5.2 Consommation d'énergie :**

Il est à noter que l'efficacité en consommation d'énergie représente un facteur de performance significatif. C'est pourquoi les concepteurs peuvent au moment du développement des protocoles, négliger les autres facteurs au détriment de cette contrainte. L'utilisation des protocoles basés sur les techniques de conservation d'énergie lors de la communication et le calcul est essentiel [26].

## **5.3 Limitations de capacités des nœuds :**

Les nœuds ont des capacités de calcul, de stockage et de communication limitées. Les Concepteurs de protocoles de routage doivent englober des opérations simples et peu exigeantes en capacité de calcul et de stockage [26].

## **5.4 Scalabilité :**

Les applications des RCSFs nécessitent en général un déploiement dense des nœuds. Les protocoles de routage doivent donc être très scalables [26].

## **5.5 Connectivité :**

Le grand nombre de nœuds dans le RCSF signifie qu'ils sont généralement dispersés de manière aléatoire et ne sont pas uniformément répartis sur le champ de puits [26].

## **5.6 Hétérogénéité :**

Dans les RCSFs, les nœuds peuvent avoir des rôles différents. Ainsi, selon la tâche assignée au capteur, les besoins en ressources de calcul, de stockage, de communication et d'alimentation peuvent différer d'un nœud à l'autre. Pour répondre à ce problème, une des solutions envisagées par certaines applications est d'intégrer des nœuds privés plus puissants que d'autres qui seront chargés d'effectuer des tâches plus coûteuses en ressources énergétiques [27].

## **6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous présentons les principaux protocoles de routage dans les réseaux de capteurs. Ces réseaux sont divisés en quatre catégories principales sont : les protocoles hiérarchiques, les protocoles non hiérarchiques, les protocoles basés sur la localisation et les protocoles centrés sur les données.

==== *Chapitre 3 :* =====  
== *Présentation des protocoles* ==  
*hétérogènes DEEC et E-DEEC*

## **1 Introduction :**

La majorité des travaux de recherche menés actuellement dans le domaine des réseaux de capteurs sans fils se concentrent généralement sur le problème de conservation d'énergie. Le développement d'une technique efficace permettant d'économiser la ressource énergétique est un objectif primordial pour les réseaux de capteurs sans fil. L'une des techniques les plus adaptées aux RCSFs est la classe de routage hiérarchique qui englobe les solutions qui adoptent une restructuration du réseau physique en un système de hiérarchie logique visant l'optimisation de la consommation de l'énergie et le passage à l'échelle.

Dans ce chapitre nous allons étudier la problématique du routage hiérarchique dans les RCSFS, en se focalisant sur les protocoles suivant : DEEC (Distributed Energy Efficiency Clustering) et EDEEC («Enhanced Distributed Energy Efficiency Clustering Scheme for WSN hétérogène) qui est une version étendue de DEEC.

## **2 Le routage hiérarchique :**

Le routage hiérarchique ou basé-groupe (cluster-based) est originalement proposé pour les réseaux filaires et ensuite utilisé pour les réseaux de capteurs. Dans une architecture hiérarchique, des nœuds ayant plus d'énergie sont utilisés pour traiter et transmettre les informations tandis que les nœuds de faible énergie sont utilisés pour capturer à la proximité de la cible. C'est-à-dire, construire des groupes de nœuds et leur associer spécialement les tâches à exécuter. Le routage hiérarchique se fait principalement en deux niveaux : dans l'un les représentants des groupes (cluster-heads) sont sélectionnés, et dans l'autre le routage proprement dit est procédé [28]

## **3 Caractéristiques des protocoles hiérarchiques :**

### **3.1 Le clustering :**

Le clustering est une technique pour partitionner le réseau en groupes (Clusters) plus homogènes selon une métrique spécifique ou une combinaison de métriques, et former une topologie virtuelle.

Chaque groupe a désigné un leader (Cluster-Head) qui communique avec les membres de son groupe et les cluster Heads des autres groupes, d'agrèger leurs données collectées et de les transmettre à la station de base.

Donc, la technique de clustering contribue énormément à l'économie de l'énergie, à la réduction de la complexité des protocoles de routage et à la résistance au facteur d'échelle, en plus de l'agrégation de données qui permet d'éliminer redondance de données et de n'envoyer que les informations utiles. [29]

### **3.2 Cluster :**

Le cluster est un ensemble de nœuds qui forme l'unité d'organisation d'un réseau de capteur, la nature dense de réseaux exige la décomposition en cellules afin de simplifier les tâches de communication et répondre aux différentes contraintes. [29]

### **3.3 Cluster-Head :**

Il représente le chef du groupe surnommé aussi le leader, il est élu par les autres nœuds ou bien pré-assigné par le concepteur de réseau. Un CH collecte les données des nœuds au sein du cluster et les transfère vers la destination (Base station). [29] [30]

### **3.4 Station de base :**

Elle se situe au niveau supérieur de la hiérarchique d'un réseau de capteur, elle fournit une connexion entre le réseau et l'utilisateur final. [29]

### **3.5 L'élection des CHs :**

Dans cette phase, chaque nœud envoie un message aux nœuds voisins. Ce message inclut l'ID du nœud et son poids. Lorsqu'un nœud reçoit un nombre prédéfini ( $N_p$ ) de paquets de messages, il compare tous les poids reçus, le nœud avec le poids le plus élevé sera annoncé comme Cluster Head (CH). Un CH défaillant peut provoquer un cluster pour rester isolé jusqu'au prochain reclustering. Pendant ce temps, les données importantes des nœuds mobiles ne peuvent pas être signalées et peuvent

être perdues. Pour éviter ce problème, un cluster Head secondaire (SCH) est également élu en fonction du poids le plus élevé suivant. Le SCH stocke les informations de routage et de cluster de sauvegarde. [31]

### 3.6 Communication inter-cluster

La transmission des données du cluster à l'extérieur de celui-ci par sa tête. Cette transmission peut se faire par saut unique vers la station de base ou par sauts multiples entre les têtes de grappes vers la station de base.

### 3.7 Communication intra-cluster :

La communication entre les membres d'un cluster ; généralement, la communication va des membres à leur tête via un saut unique ou plusieurs sauts.

- Nombre de clusters : il s'agit d'un paramètre clé concernant l'efficacité de l'algorithme de clustering, qui varie en fonction de la taille du réseau.

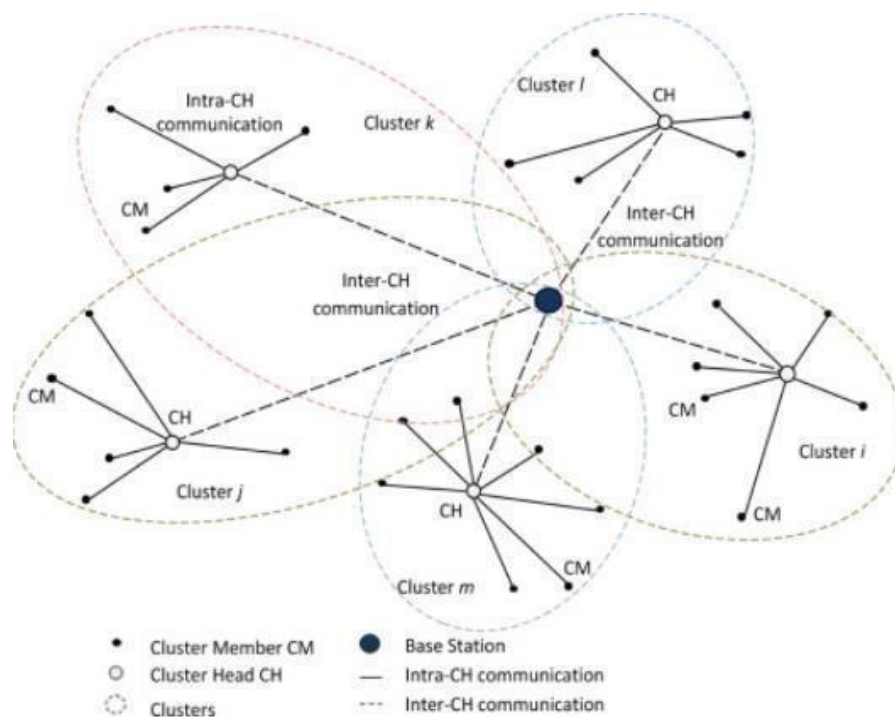


Figure3.1 : Communication Inter-CH et Intra-CH

## 4 DEEC (Distributed Energy Efficient Clustering)

Distributed Energy Efficient Clustering (DEEC) est l'un des protocoles de routage hiérarchique basés sur les clusters qui est utilisé pour les réseaux hétérogènes.

Li Qing, Qingxin Zhu et Mingwen Wang [32], ont proposé une conception d'un algorithme de clustering distribué économe en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil hétérogènes.

Dans le DEEC l'élection de la tête de cluster effectuée en prenant la probabilité sur le rapport de l'énergie résiduelle de chaque nœud et l'énergie moyenne du réseau. Le seuil de probabilité est utilisé pour élire le cluster dirigé. Les nœuds avec une énergie initiale et résiduelle plus élevées seront ont plus de chances d'être les cluster-Head que les autres ayant une énergie plus basse. Il est donc plus approprié, efficace et atteint de meilleurs résultats dans un environnement hétérogène.

DEEC est une variante du protocole LEACH qui convient pour les WSN homogènes et hétérogènes.

La sélection du CH est basée sur le rapport de l'énergie initiale l'initiale et l'énergie résiduelle. Pour contrôler la sortie d'énergie des nœuds, il utilise l'énergie de référence, et calcule la moyenne de l'énergie du réseau en utilisant l'énergie de référence.

Le nombre rond de l'époque tournante pour chaque nœud est différent selon son énergie initiale et son énergie résiduelle, c'est-à-dire que le DEEC adapte l'époque de rotation de chaque nœud à son énergie. Les nœuds à haute énergie initiale et résiduelle auront plus de chances d'être les chefs de cluster que les nœuds à faible énergie.

Les simulations montrent que DEEC atteint une durée de vie du réseau plus efficace que les autres algorithmes de clustering classiques hétérogènes. De plus, DEEC est également adapté aux réseaux multi niveaux.

Dans le protocole DEEC, tous les nœuds utilisent le niveau d'énergie initial et résiduel pour définir les chefs de grappe. DEEC estime la valeur idéale de durée de vie du réseau pour calculer l'énergie de référence que chaque nœud devrait dépenser à chaque tour. Dans un réseau hétérogène à deux

niveaux, où l'on va avoir deux catégories de nœuds,  $m.N$  nœuds avancés d'énergie initiale égale à  $E_0.(1+a)$  et  $(1-m).N$  nœuds normaux, où l'énergie initiale est égal à  $E_0$ . Où  $a$  et  $m$  sont deux variables qui contrôlent les types de pourcentage de nœuds (avancée ou normale) et l'énergie initiale totale dans le réseau  $E_{total}$ .

- La valeur de l'énergie totale (dans les cas général) est donnée par l'équation (1)

$$E_{total} = \sum_{Ni=1} E_0(1+ai) = E_0 (N + \sum_{Ni=1} ai) \quad (1)$$

- Dans le cas de deux niveaux est définie par l'équation suivante (2)

$$E_{total} = N(1-m)E_0 + N.m.E_0(1+a) = NE_0(1+a.m) \quad (2)$$

- L'énergie moyenne du  $r^{th}$  round est définie comme suit :

$$E(r) = N^{-1} E_{total}(1-R^r) \quad (3)$$

- $R$  désigne le nombre total de tours de la durée de vie du réseau et est défini comme suit

$$R = \frac{E_{total}}{E_{round}} \quad (4)$$

- $E_{Round}$  est l'énergie totale dissipée dans le réseau pendant un tour et est égal à

$$E_{round} = L(2NE_{elec} + NE_{DA} + KE_{amp}d_{toBS4} + NE_{fs}d_{toCH2}) \quad (5)$$

$k$  : nombre de clusters.

$E_{DA}$  : coût d'agrégation des données dépensé dans la tête de grappe.

$d_{toBS}$  : distance moyenne entre la tête de cluster et la station de base.

$d_{toCH}$ : distance moyenne entre le cluster membre et le chef de groupe.

- Parce que nous supposons que les nœuds sont uniformément distribués, on obtient :

$$d_{toCH} = \frac{M}{\sqrt{2k\pi}}$$

$$d_{toBS} = 0.765 \frac{M}{2}$$

### **Avantages :**

- DEEC n'exige aucune connaissance de l'énergie à chaque élection round.
- Contrairement à SEP et LEACH DEEC peut bien performer en multi-niveaux hétérogène réseau sans fil.

### **Limites :**

- Les nœuds avancés pénalisent toujours dans le DEEC, en particulier lorsque leur résiduel énergie réduite et devenir dans la gamme des nœuds normaux. Dans cette position, le les nœuds avancés meurent plus rapidement que les autres.

## **4.1 Caractéristiques de DEEC**

- La sélection des chefs de cluster dans le DEEC se fait uniquement sur la base de la probabilité qui lui est attribuée. La probabilité peut être supérieure à 0,5, ce qui dans la sélection de la tête de cluster.
- L'énergie limitée associée au nœud de capteur sans fil et sa durée de vie dépend du nombre de paquets qu'il a traités et durée de vie pendant laquelle il est allumé.
- DEEC est une avancée de LEACH dans laquelle à chaque tour plusieurs chefs de cluster sont sélectionnés et donc l'équilibrage de charge est atteint.
- Les protocoles hétérogènes à deux niveaux sont pris en charge par l'application de DEEC.
- Le clustering hiérarchique avec un fonctionnement à plusieurs niveaux avec le niveau 0 à N est pris en charge avec ce protocole.
- Dans DEEC, chacun des hubs doit avoir une idée de la vitalité et des informations durables. Les nœuds ont l'initiale
- L'énergie qui leur est associée et cette énergie est appelée énergie de référence utilisée au sein du réseau pour vérifier la tête de cluster, construction. [33]

## 5 EDEEC (Enhanced Distributed Energy Efficiency Clustering) :

Parul Saini , Ajay.K. Sharma [34] dans ont proposé EDEEC (Enhanced Distributed Energy Efficiency Clustering Scheme for WSN hétérogène). Pour trois types des nœuds, ils ont proposé EDEEC pour prolonger la durée de vie et la stabilité de réseau. Ce protocole augmente donc l'hétérogénéité et le niveau d'énergie du réseau. , il s'agit d'une version étendue de DEEC avec une classification normale, avancée et super nœud sur la base de l'énergie du nœud, EDEEC suit les idées de DEEC et ajoute un autre type de nœud appelé Super nœud pour améliorer l'hétérogénéité. [35]

### 5.1 Modèle de réseau hétérogènes :

Supposons qu'il y ait N nœuds capteurs, qui sont uniformément répartis dans un Surface carrée  $M \times M$ . EDEEC considère trois types de Supposons nœuds capteurs avec différents niveaux d'énergie, c'est-à-dire nœuds normaux, nœuds avancés, super nœuds. Les nœuds normaux ont de l'énergie  $E_0$ . Soit  $m$  la fraction des nœuds avancés ont parfois plus d'énergie que les nœuds normaux, c'est-à-dire  $E_0(1 + a)$  tandis que  $m_0$  est le pourcentage du total nombre de nœuds  $n$  ont  $b$  fois plus d'énergie que la normale des nœuds appelés super nœuds, c'est-à-dire  $E_0(1 + a)$ . Comme  $N$  est le total nombre de nœuds dans le réseau, puis  $Nm_0$ ,  $N \cdot m(1 - m_0)$  et  $N(1 - m)$  est le nombre de super, avancé et normal nœuds du réseau, respectivement.

- L'énergie initiale totale des super nœuds dans WSN :

$$E_{super} = N \cdot m_0 \cdot E_0(1 + b)$$

- L'énergie initiale totale des nœuds avancés dans WSN :

$$E_{avancé} = N \cdot m(1 - m_0)E_0(1 + a)$$

- L'énergie initiale totale des nœuds normaux dans WSN :

$$E_{normal} = N(1 - m)m_0$$

- L'énergie initiale totale des WSN hétérogènes à trois niveaux est calculée comme :

$$E_{total} = E_{super} + E_{avancé} + E_{normal}$$

$$E_{total} = N \cdot m \cdot m_0 \cdot E_0(1 + b) + N \cdot m(1 - m_0)E_0(1 + a) + N(1 - m)E_0$$

$$E_{total} = NE_0[1 + m(a + m_0(b - a))]$$

Le WSN hétérogène à trois niveaux à  $m(a + m_0b)$  fois plus d'énergie par rapport au WSN homogène.

EDEEC est un algorithme de clustering distribué économe en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil hétérogènes qui est basé sur le clustering, lorsque les clusters-Head sont élus par une probabilité basée sur le rapport entre l'énergie résiduelle de chaque nœud et l'énergie moyenne du réseau. Le nombre round de la rotation de l'époque de chaque nœud est différent en fonction de sa valeur initiale et énergie résiduelle.

Les nœuds à haute initiale et l'énergie résiduelle auront plus de chances d'être les chefs de cluster que les nœuds à faible énergie. Ainsi, EDEEC peut prolonger la durée de vie du réseau, en particulier la période de stabilité. Ce choix pénalise toujours les nœuds avancés, surtout quand leur énergie résiduelle s'épuise et devient dans la gamme des nœuds normaux. Dans cette situation, les nœuds avancés meurent plus rapidement que les autres. [36]

## 5.2 Propriétés du protocole EDEEC

Dans le réseau modèle décrit dans la section précédente quelques hypothèses sont été faites pour les nœuds capteurs ainsi que pour le réseau. D'où les hypothèses et les propriétés des nœuds du réseau et des capteurs sont :

- Les nœuds capteurs sont déployés de manière uniforme et aléatoire dans le réseau. Il y a une station de base qui est située au centre du champ de détection
- Les nœuds ont toujours les données à envoyer à la station de base.
- Tous les nœuds ont des capacités similaires en termes de traitement et de communication et d'égale importance. Ces nœuds a toujours les données à envoyer à la station de base.

- Les nœuds capteurs ont une hétérogénéité en termes d'énergie et différents niveaux d'énergie.

Tous les nœuds ont des initiales différentes d'énergie, certains nœuds sont équipés de plus d'énergie que les nœuds normaux.

## 6 Algorithme de simulation :

1. Création d'un modèle réseau de capteur sans fil (distribution des nœuds de manière aléatoire).
2. Calculer l'énergie initial total ( $E_t$ ) pour tous les types de nœuds (DEEC : deux types de nœuds : normal et avancée) (EDEEC : trois types de nœuds : normale, avancé, super)
3. Initialisation du tour ( $r=1$ ).
4. Calculer  $E_r$  (énergie résiduelle).
5. Initialiser les nœuds vivant et morts ( $alive = n$ ), ( $mort = 0$ ).
6. Calculer  $E_a$  (average energy)
7. Calculer les nœuds vivants.
8. Vérifier S'il y a un nœud mort
9. Initialiser cluster =1, count CH =0.
10. Calculer  $p_i$  (probabilité de clusters Head) pour 3 types des nœuds.
11. Election CH
12. Calculer l'énergie dissipée.
13. Election de CH associée pour les nœuds normaux.
14. Calcule l'énergie dissipée par CH.
15. Calculer les paquets à CH
16. Calculer les paquets à BS
17. Retourner à l'étape 3

## 7 Organigramme de l'algorithme DEEC et EDEEC :

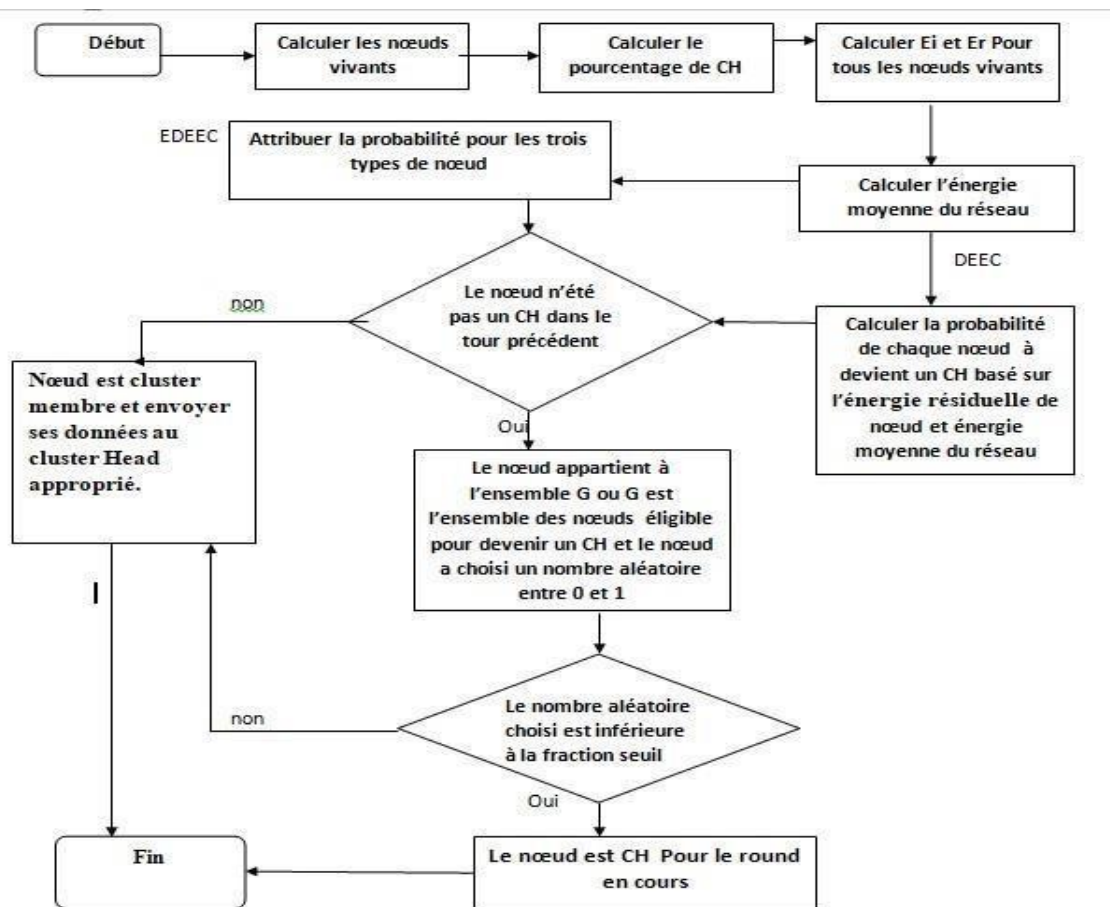


Figure 3.2 : Organigramme de l'algorithme DEEC et EDEEC

## 8 Conclusion

Le routage hiérarchique est le plus favorable Pour l'utilisation efficace d'énergie, ils utilisent la méthode de clustering.

Dans ce chapitre, nous avons parlé du routage hiérarchique et leur caractéristique, ainsi nous avons présenté les deux protocoles hétérogènes DEEC et EDEEC, ensuite on a donné leurs organigrammes et un algorithme de simulation.

==== *Chapitre 4:* =====  
== *Implémentation et comparaison* ==  
*de protocoles DEEC et E-DEEC*

# 1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les outils de développement utilisés pour la réalisation de la simulation des protocoles discutés dans le chapitre précédent DEEC et EDEEC, ainsi que l'analyse des résultats des simulations obtenus lors de l'implémentation.

En dernier lieu, nous ferons une comparaison entre les protocoles hiérarchiques hétérogènes DEEC et EDEEC selon quatre métriques qui sont : Les nœuds morts pendant les tours (rounds), Les nœuds vivants pendant les tours (rounds), les paquets envoyés à BS, Les Cluster heads.

## 2 Environnement de développement

### 2.1 Matériel utilisé

Pour le développement de notre simulation, nous avons utilisé un micro-ordinateur portable ayant les caractéristiques suivantes :

- Processeur intel(R) core(TM) i3-6006U CPU @ 2.00GHz 2.00GHz
- RAM 4.00 GO
- Système d'exploitation Microsoft Windows 10.

### 2.2 Logiciel utilisé

#### 2.2.1 Présentation du Matlab

Pour la phase d'installation Nous avons adopté Le logiciel Matlab qui est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées, il a été Développé par la société MathWorks.

C'est un langage de haut niveau, son objectif par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique. Ces tâches sont accomplies très rapidement par rapport à C, C++ et FORTRAN. Matlab est un logiciel interprété (donc sans phase préliminaire de compilation) qui exécute les opérations demandées séquentiellement, avec possibilité de boucle, test et saut.

Nous avons utilisé la version MATLAB 2009 qui a introduit des raccourcis claviers personnalisables et diverses opérations telles que copier/coller et lancer des rapports, etc. Les raccourcis claviers personnalisables font gagner un temps précieux. MATLAB 2009 a introduit des astuces M-Lint qui aide dans de nombreuses situations différentes, comme pour compléter les codes et signaler les erreurs. La fonctionnalité de publication de code a également été améliorée dans cette version et l'on peut désormais placer les figures où on le souhaite avec le mode de capture de figure.

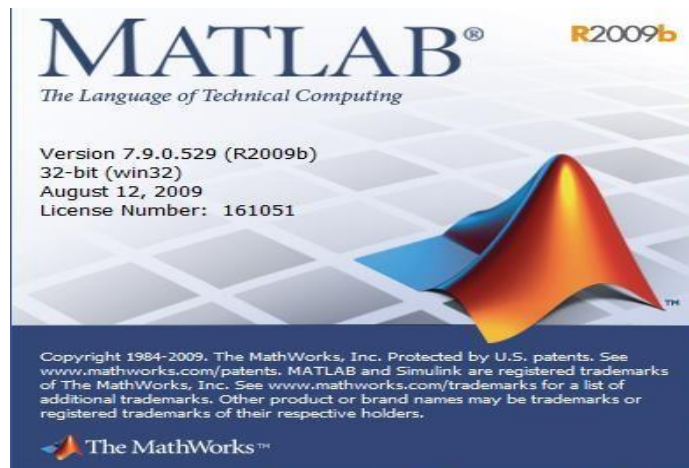


Figure 4.1 : Logo Matlab 2009

- L'éditeur MATLAB est l'interface qui permet d'écrire les fonctions, il peut être lancé en tapant « editNomDeFichier » dans le command Window ou en cliquant sur File « New » M-file. La figure 4.2 montre l'éditeur de script du programme de simulation sous Matlab 2009 :

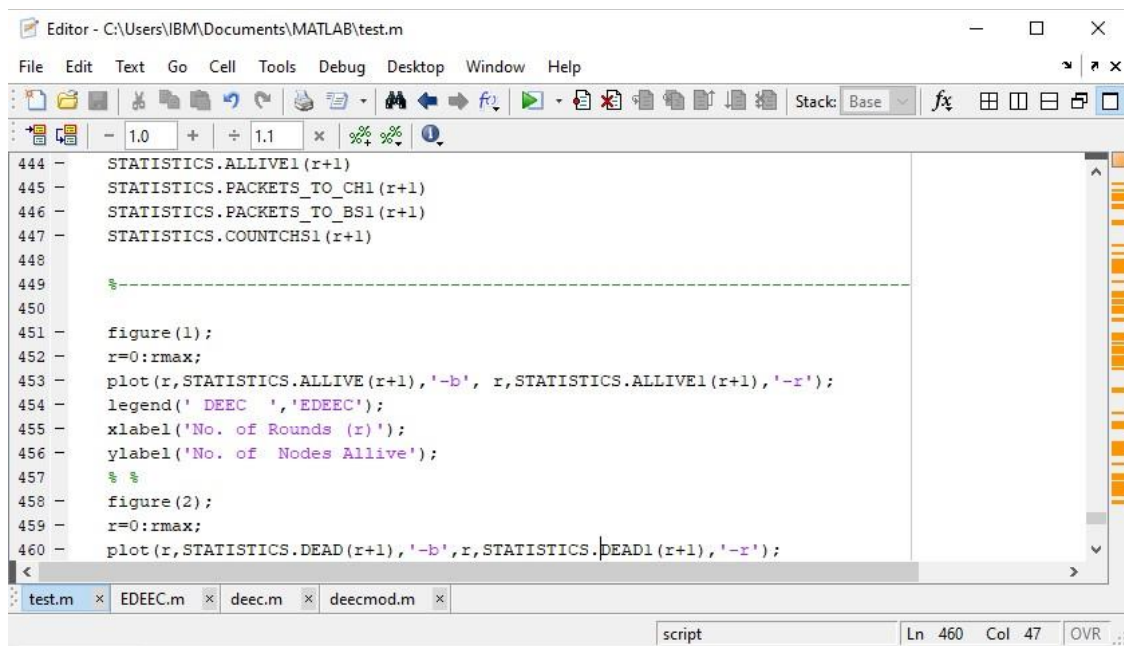


Figure4.2 : Editeur de script du programme de simulation sous Matlab 2009

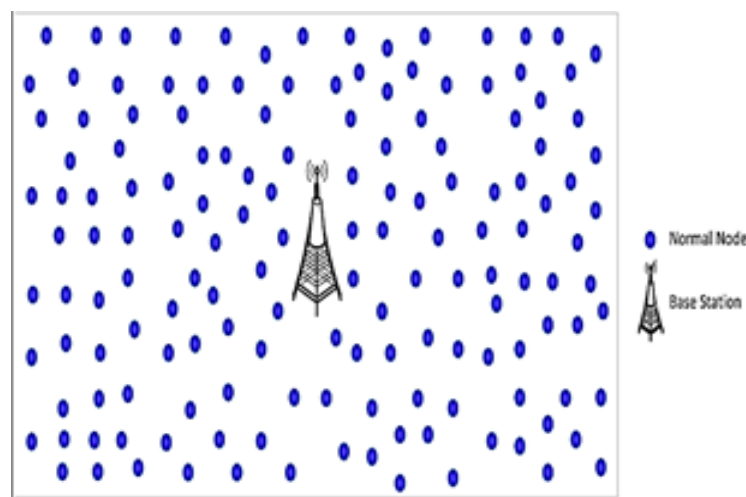
### 3 Simulation

Pour la simulation du système, les valeurs des paramètres radio mentionnés dans le tableau 1 sont utilisées dans les protocoles DEEC et EDEEC. Les nœuds avancés ont  $a = 1,5$  fois plus d'énergie et les super-nœuds ont  $b = 3$  fois plus d'énergie que les nœuds normaux. Dans cet article, nous nous intéressons essentiellement à la durée de vie du réseau et à la transmission des paquets. Les figures 3 et 4 montrent clairement que le protocole EDEEC est significativement plus efficace que DEEC en termes de durée de vie du réseau et de paquets transmis à la BS.

Les propriétés suivantes sont utilisées pour simuler la région du capteur :

- Les nœuds capteurs et la station de base sont supposés stationnaires une fois qu'ils sont déployés dans l'environnement et que leur emplacement est fixé.
- Le réseau de capteurs sans fil comprend des nœuds de capteurs hétérogènes.
- La station de base n'est pas limitée en termes d'énergie, de mémoire et de puissance de calcul.
- Les nœuds sont éligibles pour déterminer leur niveau d'énergie actuel et les informations de localisation via le service GPS.
- Tous les nœuds capteurs sont immobiles et ont un ID de nœud fixe.
- L'agrégation des données est effectuée uniquement aux niveaux des nœuds CH.

#### Déploiement :

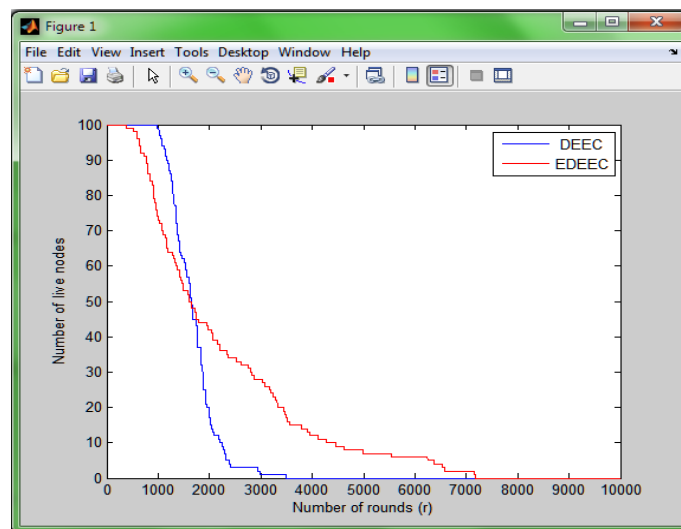


**Figure 4.3** - Exemple de déploiement dans un réseau de capteurs sans fil.

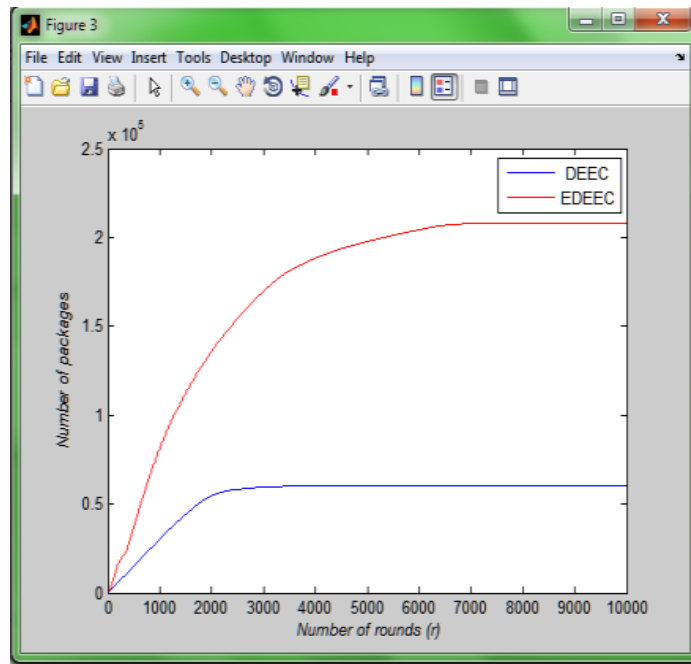
La figure 4. illustre la configuration adoptée. La base station est envisagée être au milieu du réseau de capteurs. Le tableau 4.1 détermine les paramètres de simulation relatifs à nos expérimentations sous MATLAB.

Parameters	Values
Network size	(100,100) m <sup>2</sup>
Number of nodes	100
Normal nodes initial energy (E <sub>0</sub> )	0.5 J
A	1.5
B	3
Eda (data aggregation)	5nj/bit
E <sub>elec</sub>	50nj/bit
E <sub>fs</sub>	10nj/bit/m <sup>2</sup>
E <sub>amp</sub>	0.0013 pj/bit/m <sup>4</sup>
d <sub>0</sub>	76m
P <sub>opt</sub>	0.1
Sink position	(50,50) in the centre of the network
Fraction of super nodes (m)	0.3
Fraction of advanced nodes (m <sub>0</sub> )	0.3

**Tableau 4.2.** Paramètres de simulation.



**Figure4 .4-** Nombre de nœuds vivants.



**Figure 4.5-** Nombre de paquets transmis

Les résultats de la simulation montrent que le protocole EDEEC est plus efficace que DEEC en termes de durée de vie du réseau et du nombre de paquets transmis à la BS. Le protocole EDEEC augmente la durée de vie du réseau. Dans cette simulation, la durée de vie du réseau et le nombre de paquets délivrés à la Station de Base sont multipliés par 2.

---

---

## *Conclusion générale*

---

---

Les réseaux de capteurs sans fil ont connu un grand succès dès leur apparition dans tous les domaines grâce à leurs diverses fonctionnalités. Cependant, la conception de ces réseaux doit satisfaire quelques contraintes, parmi ces contraintes la réduction de la consommation d'énergie.

Dans cet objectif, le clustering est une technique qui permet au réseau de capteurs de fonctionner plus efficacement, Cette technique augmente la consommation d'énergie de réseau de capteurs et donc la durée de vie.

Dans ce travail, nous avons mené tout d'abord, une recherche sur les généralités qui entourent le domaine des réseaux de capteurs sans fil ainsi que le routage dans les RCSFs, puis nous avons présenté les protocoles de routage et leurs classifications.

En effet, nous nous sommes intéressés aux protocoles de routage hiérarchique à savoir les protocoles hétérogènes DEEC et EDEEC et ce qu'ils offrent comme optimisation de prolongement de temps de vie du réseau ainsi que la gestion efficace de la consommation d'énergie.

Nous avons simulé le fonctionnement des deux protocoles DEEC et EDEEC avec le simulateur Matlab 2009 dont nous avons fait une étude comparative des résultats obtenus, qui montre que EDEEC a de meilleures performances par rapport à DEEC, il prolonge la durée de vie et stabilité de réseau, il augmente donc l'hétérogénéité et le niveau d'énergie du réseau.

Enfin, comme perspectives nous envisageons de proposer un nouvel algorithme qui fournir un meilleur rapport consommation d'énergie.

# Biographies

- [1] F. Akyidiz, Y. Sankarasubramaniam, W.Su, and E.Cayirci. A survey on sensor networks. IEEE communication, August 2002.
- [2] M yasser ROMDHANE and M Nabil TABBEN.Evaluation des performance des protocole s-mac et directed diffusion dans les réseaux de capteur.Rapport de fin d'étude d'ingénieure,Ecole superieure de communication de Tunis,2007.
- [3] Qinghua Wang , Ilanko Balasingham, « Wireless Sensor Networks \_An Introduction » Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design, Geoff V Merrett and Yen Kheng Tan (Ed.), ISBN: 978-953-307-321-7, InTech, 2010.
- [4] muhammed R Ahmed, Xu hang,Dharmandrasharma ,and hongyancui ,Wirlessenosr network characteristics and architectures.
- [5] Wirlessenosr network characteristics and architectures /muhammed R Ahmed, Xu hang,Dharmandrasharma ,and hongyancui.
- [6] Wirlessenosr network characteristics and architectures /muhammed R Ahmed, Xu hang,Dharmandrasharma ,and hongyancui.
- [7] Wirlessenosr network characteristics and architectures muhammed R Ahmed, Xu hang,Dharmandrasharma ,and hongyancui.
- [8] Yacine CHALLAL « réseau de capteur sans fil >>, support de cours, 17/11/2008.
- [9] Muhammad Omer Farooq and Thomas Kunz ,Article :OperatingSystems for Wireless Sensor Network.
- [10] <https://github.com/contiki-os/contiki>.
- [11] Ramon SernaOliver ,IvanShcherbakov , Gerhard Fohler ,An Operating System Abstraction Layer for Portable Applications in Wireless Sensor Networks.
- [12] Muhammad Omer Farooq and Thomas Kunz ,Article :OperatingSystems for Wireless Sensor Networks: A Survey.

- [13] SOS - A Dynamic operating system for Sensor Networks Chih-Chieh Han, Ram Kumar, Roy Shea, Eddie Kohler, Mani Srivastava {simonhan@cs, ram@ee, roy@cs, eddie@cs, mbs@ee}.ucla.edu University of California, Los Angeles
- [14] Mémoire de Master en informatique, Thème : Simulation d'un réseau de capteur sans fil sous Contiki 'La localisation d'un mobile', Université A/Mira de Bejaia.
- [15] :Mémoire fin de cycle ,En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en informatique, thème :Amélioration et simulation du protocole de routage AORP dans les réseaux de capteurs sans fil ,Présenté par : GUETTAF Dihia ,HADJAL Lydia ,Promotion 2015-2016
- [16] <http://mbaudin.free.fr/walkonthegrass/routage.html>
- [17] Y. Romdhane, " Evaluation des performances des protocoles S-MAC et Directed Diffusion dans les réseaux de capteurs ", Projet de fin d'études, Ecole Supérieure des Communications de Tunis (Sup'Com), 2006 / 2007.
- [18] S. belkheyr, Etude d'un protocole de routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen,20122013.
- [19] Paul MÜHLETHALER. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/reseau-internet-protocolesmulticastroutagempls-et-mobilite-42289210/routage-dans-les-reseaux-ad-hoc7520/routagegeographique7520niv10005.html>.auteur , 10 nov. 2004
- [20] Khaled BOUCHAKOUR, « Routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil: Protocole KhLCH (K-hop Layered Clustering Hierarchy) », mémoire présenté pour l'obtention d'un diplôme de MAGISTER EN INFORMATIQUE, Ecole Doctorale, 2012.
- [21] R. MOHAMED, Problèmes de sécurité dans les Réseaux de capteurs avec prise en charge de l'énergie, mémoire de magister, université de saad dahlab de Blida, Novembre 2013
- [22] I. Mahgoub, M. Ilyas, " Sensor Network Protocol ", Hardcover Book,ISBN : 0849370361, Number of pages : 248, USA, 27 Janvier 2006

- [23] A. Bouabdallah, H. Betthahar, Y. Challal, " Les Réseaux de capteurs (WSN : Wireless Sensor Networks) ", Cours, Université de Technologie de Compiègne, France, 2008
- [24] ] S. Fdida et G. Hébuterne. " Méthodes exactes d'analyse de performance des réseaux ". Lavoisier Ed, Paris, 2004.
- [25] Lahcene DEHNI \*, Younes BENNANI \*, Francine KRIEF. » Une nouvelle approche de routage dans les réseaux de capteurs pour l'optimisation de la consommation d'énergie » Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique UMR 5800 du CNRS, université Bordeaux.
- [26] F.Z. Benhamida, " La tolérance aux pannes dans les réseaux de capteurs sans fil ", Rapport du mini projet, Institut National de Formation en Informatique INI, Algérie, 2006/2007.
- [27] L. Khelladi, N. Badache " Les réseaux de capteurs : état de l'art ", Rapport de recherche, Algérie, Février 2004.
- [28] Ameer ahmed abbasi and mohamed younis.a survey on clustering algorithmes of wirless senosor network ,COMPUTER COMMUNICATION 14(30) :2826-2841,2007
- [29] Sanjeev Gupta,Neeraj Jain ,Poonam Sinha,,clustering protocole in wirless sensor network  
A survery ,international journal applied information system(UAIS)-ISSN :22490868foundation of computer science FCS,new york,USA,02-januray 2013
- [30] Gomathi K, Dr. ParvathavarthiniB, An Enhanced Distributed Weighted Clustering Algorithm for Intra and Inter Cluster Routing in MANET, nternational Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 2, Issue 12, December 2014
- [31] VARDHARAJULU K N,Hierarchical Routing Protocols in Wireless Sensor Networks:  
A Survey, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT),ISSN :22780181,on 12 August 2016.
- [32] Updeep Kourl\*, Sandeep Sharma , Enhanced Distributed Energy Efficient Clustering Protocol:Using Priority Queue ,International Journal of Computer Sciences and Engineering,E-ISSN :2347-2693,2 feb,2019

- [33] Parul Saini, Ajay.K.Sharma , E-DEEC- Enhanced Distributed Energy Efficient Clustering Scheme for heterogeneous wsn, 2010 1st International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC - 2010)
- [34] Priya ,Rashmi,EDEEC-Enhanced Distributed Energy Efficient Clustering Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Network (WSN), International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), | Aug -2017
- [35] L.Qing.Q.Zhu,and M.Wang,Designe of a distributed energy efficient clustering algorithm for heterogenous wireless sensor network,Computer.