

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A.Mira de Bejaïa  
Faculté des Sciences Exactes  
Département Informatique



Mémoire de fin de cycle  
en vue d'obtention du diplôme de master professionnel en informatique  
Option : Administration et Sécurité des Réseaux

## Thème

---

# **Proposition d'un protocole distribué pour la répartition logique d'un réseau de capteurs sans fil pour un routage multisauts**

---

**Réalisé par :**

HASSAM Lynda.  
LAHLOUH Noria.

**Devant le jury composé de :**

Président : M.KHANOUCHE M.Essaid.  
Promoteur : M. MIR Foudil.  
Examinatrice : M<sup>me</sup>.BOUTRID Samia.  
Examineur : M.OUZEGGANE Redouane.

**Promotion 2016**

# Remerciements

C'est avec un grand plaisir que nous réservons ces lignes en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce projet.

Nous remercions en premier lieu le bon DIEU de nous avoir donnée les moyens, l'énergie mais surtout la volonté nécessaire pour la réalisation de ce modeste mémoire.

Nos vifs remerciements vont d'emblées à nos chers parents pour tous les sacrifices consentis à notre égard et leur énormes soutien.

Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur MIR Foudil d'avoir joué pleinement son rôle de promoteur en étant à nos côtés tout au long de l'étude de notre projet. Ses conseils et orientations nous ont guidés jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

Nous remercions aussi Mr Med.S KHANOUCHE de nous faire l'honneur de présider le jury de notre soutenance. Nos remerciement s'adressent aussi aux membres de jury constitué de : Mme S.Boutrid et Mr R.OUZGGANE pour avoir accepté la tache de juger ce travail.

# Dédicaces

A mes parents,  
A mes frères,  
A la mémoire ma grand mère,  
A toute ma famille,  
A mes amis de A a Z, et tout ceux qui m'ont aidé ;  
A ma binôme LAHLOUH Noria et sa famille.

**Lynda HASSAM**

A mes parents,  
A mes frères et soeurs,  
A toute ma famille,  
A mes amis de A a Z, et tout ceux qui m'ont aidé ;  
A ma binôme HASSAM Lynda et sa famille.

**Noria LAHLOUH**

# Table des matières

Table des matières	I
Table des figures	III
Liste des tableaux	IV
Liste des algorithmes	V
Introduction général	1
<b>1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction	3
1.2 Quelques définitions	3
1.2.1 Réseau	3
1.2.2 Réseau sans fil	3
1.2.3 Réseau ad hoc	3
1.2.4 Capteur sans fil	4
1.3 Réseau de capteur sans fil	5
1.3.1 Architecture d'un RCSF	5
1.3.2 Caractéristiques des réseaux de capteurs	6
1.3.3 Contraintes de conception des RCSF	7
1.4 Domaine d'application des réseaux de capteur sans fil	8
1.5 Conclusion	9
<b>2 Le routage dans les réseaux de capteur sans fil</b>	<b>11</b>
2.1 Introduction	11
2.2 Consommation d'énergie dans les RCSF	11
2.2.1 Énergie de capture	11
2.2.2 Énergie de traitement	11
2.2.3 Énergie de communication	12
2.3 Facteurs de conception des protocoles de routage	12
2.4 Classification des protocoles de routages	13
2.4.1 Selon la structure du réseau :	14
2.4.2 Selon le mode de fonctionnement du protocole	25
2.4.3 Selon le mode d'établissement des chemins	27
2.4.4 Selon l'initiateur de communication	27
2.4.5 Tableau de comparaison des protocoles de routage dans les RCFSs	28
2.4.6 Quelques améliorations du protocole hiérarchique LEACH	28
2.5 Conclusion	35

---

<b>3</b>	<b>Contribution LEACH-IWE</b>	<b>36</b>
3.1	Introduction . . . . .	36
3.2	Concept de base de notre protocole . . . . .	36
3.3	Le étapes de notre protocole . . . . .	37
3.3.1	Étape d'initialisation . . . . .	39
3.3.2	Étape de transmission . . . . .	40
3.4	Conclusions . . . . .	44
<b>4</b>	<b>Simulation et analyse des performances</b>	<b>45</b>
4.1	Introduction . . . . .	45
4.2	La simulation . . . . .	45
4.3	Le choix de MATLAB . . . . .	45
4.4	Modèle de consommation d'énergie . . . . .	46
4.5	Paramètre de simulation . . . . .	46
4.6	Résultats de simulation . . . . .	47
4.6.1	Nombre de noeud mort par round . . . . .	48
4.6.2	La somme d'énergie par round . . . . .	50
4.7	Conclusion . . . . .	51
	<b>Conclusion général</b>	<b>52</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>54</b>

# Table des figures

1.1	Composants d'un capteur [4] . . . . .	4
1.2	Architecture d'un capteur [4]. . . . .	5
1.3	Exemple d'un réseaux de capteurs. . . . .	6
1.4	Domaine d'applications des RCSFs [18]. . . . .	9
2.1	Diagramme de classification des protocoles de routages. . . . .	14
2.2	description de protocole de diffusion dirigée (a) propagation d'intérêt(b) configuration de gradients initiale (c) livraison de données renforcée [23]. . . . .	15
2.3	Construction d'une chaine en utilisant un algorithme avide [36]. . . . .	19
2.4	Approche de passage avec jeton [36]. . . . .	20
2.5	Organigramme de l'algorithme de formation de grappes distribué pour LEACH [37]. . . . .	22
2.6	chronologie montrant le fonctionnement de LEACH. Des grappes Adaptive sont formées Pendant la phase set up et les transferts des données qui se produisent pendant la phase set up [37]. . . . .	22
2.7	Diagramme de Transition D'état pour GAF. . . . .	24
2.8	Formation des clusters et chaine [48]. . . . .	29
2.9	organigramme de U-LEACH. . . . .	30
2.10	Structure du protocole leach-v [50]. . . . .	31
2.11	Le principe de Q-LEACH [53]. . . . .	34
2.12	La structure du protocole LEACH multi-saut[50]. . . . .	35
3.1	Organisation des noeuds dans le réseau. . . . .	37
3.2	les étapes d'exécution du protocole proposé. . . . .	37
3.3	Organigramme de notre protocole. . . . .	38
3.4	Transmission des données. . . . .	41
3.5	Organigramme de création des chaines . . . . .	43
4.1	modèle de consommation d'énergie [19]. . . . .	46
4.2	déploiement des nœuds. . . . .	48
4.3	la mort du premier noeud. . . . .	49
4.4	la mort de 50% des noeuds. . . . .	49
4.5	la mortalité des deux protocoles. . . . .	50
4.6	la somme d'energie des noeuds par round. . . . .	51

# Liste des tableaux

2.1	synthèse des protocoles de routage <a href="#">[20]</a> <a href="#">[26]</a> <a href="#">[47]</a> . . . . .	28
4.1	Les paramètres de simulation. . . . .	47
4.2	tableau comparatif du premier noeud mort. . . . .	48
4.3	tableau comparatif pour la mort de 50% des noeud. . . . .	49
4.4	tableau comparatif de la somme d'énergie des nœuds par round. . . . .	50

# List of Algorithms

1	Setup Phase . . . . .	32
2	NodeAssociation in Q-LEACH . . . . .	33
3	Phase d'initialisation . . . . .	39
4	Phase de transmission . . . . .	42



# Introduction générale

Le besoin d'être informé, à tout temps, des évolutions de l'environnement qui nous entoure, a mené l'être humain à perfectionner, chaque fois que c'est nécessaire, les moyens de communication et d'information. L'avènement des réseaux sans fil a élargi considérablement les horizons d'utilisation des équipements de collecte et de transmission des données sans le souci des éléments d'interconnexion classiques comme les câbles.

D'autre part, l'avancé technique a réduit, de plus en plus, la taille et le coût des équipements utilisés. Ainsi, les réseaux de capteurs sans fil ont vu le jour combinant un nombre conséquent de capteurs de faible coût et un support de transmission fiable et omniprésent. Ces derniers offrent beaucoup d'avantages notamment en termes de déploiement. Cependant, de nouveaux problèmes surgissent qui rendent les réseaux sans fils moins fiables que les réseaux filaires. Aussi de nouvelles techniques doivent être mises en œuvre pour pallier ces problèmes.

Des réseaux pour téléphones mobiles aux réseaux locaux sans fil en passant par les réseaux ad-hoc, la recherche aujourd'hui s'est beaucoup focalisée sur les réseaux de capteurs sans fil. Ceux-ci sont composés d'un grand nombre de nœuds communicants et distribués sur une zone donnée afin de mesurer une grandeur physique ou surveiller un évènement. Dans un tel réseau, chaque nœud est un dispositif électronique qui possède une capacité de calcul, de stockage, de communication, d'énergie et l'unité de capture.

Les caractéristiques particulières des RCSFs modifient les critères de performances par rapport aux réseaux sans fil traditionnels. Dans les réseaux locaux filaires ou les réseaux cellulaires, les critères les plus pertinents sont le débit, la latence et la qualité de service car les nouvelles activités telles que le transfert d'images, le transfert de vidéos, et la navigation sur Internet requièrent un débit important, une faible latence, et une bonne qualité de service. En revanche, dans les réseaux de capteurs conçus pour surveiller une zone d'intérêt, la longévité du réseau est fondamentale. De ce fait, la conservation de l'énergie est devenue un critère de performance prépondérant et se pose en premier lieu tandis que les autres critères comme le débit ou l'utilisation de la bande passante sont devenus secondaires. Les RCSFs peuvent être appliquée dans de nombreux domaines : surveillance des déplacements des véhicules en zone hostile, observation de la vie des espèces rares, optimisation de traitement pour les patients etc.

Le routage est fondamental dans ce type de réseau car il n'existe pas d'infrastructure qui gère les informations échangées entre les différents nœuds du réseau (comme par exemple les routeurs dans les réseaux filaires). En effet, c'est à chaque nœud du réseau de jouer le rôle d'un routeur. Ainsi, tous les nœuds collaborent afin de router une information vers une certaine destination.

L'objectif de ce mémoire est de traiter le problème de consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs. Le souci principal est de prolonger la durée de vie du système en économisant l'énergie dépensée par chaque capteur du réseau. Pour cela, nous avons proposé une

combinaison de deux protocoles de routage hiérarchique et rajoutant une contrainte énergétique afin d'augmenter la durée de vie du réseau, de minimiser la consommation d'énergie et le nombre de nœud qui meurt dans chaque round.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre est une introduction aux réseaux de capteurs. Il définit les concepts de base pour ce type de réseaux, leurs principales caractéristiques aussi que ses domaines d'application et passe en revue les principaux facteurs et contraintes qui influencent la conception des protocoles de routage au sein des RCSFs.

Le deuxième chapitre est consacré au défi majeur des RCSFs qui est le routage de données d'une manière générale, quelques protocoles de routage et leur classification. Nous nous intéressons dans ce chapitre, plus particulièrement, au routage hiérarchique de données pour les RCSFs qui regroupe tout un ensemble de solutions qui sont présentées et étudiées.

Le troisième chapitre est consacré au protocole que nous allons proposer, après avoir donné un aperçu sur le protocole (LEACH) sur lequel nous allons apporter une amélioration et le protocole pegasis que nous allons combiner avec LEACH.

Le quatrième chapitre, quant à lui, est consacré à la simulation des deux protocoles (LEACH et LEACH amélioré), dont les résultats de simulation ont été présentés afin d'être discutés.

Enfin nous allons terminer par une conclusion générale dans laquelle nous allons résumer les résultats de notre travail et citer quelques perspectives.

# Chapitre 1

## Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

### 1.1 Introduction

Les progrès réalisés ces dernières années dans les domaines des microsystemes électromécaniques ainsi que des techniques de communication sans fil ont permis l'invention d'un nouveau type de réseau appelé : le réseau de capteurs sans fil. (RCSF) en anglais WSNs (wirlessensor networks), il s'agit de l'une des dix nouvelles technologies qui bouleverseront le monde et notre manière de vivre et de travailler. Le RCSF présente un champ d'application très vaste, que ce soit, par exemple, dans le domaine scientifique, logistique, militaire, ou médical... D'une manière historique nous pouvons dire que ce sont les applications militaires qui ont poussées le développement des RCSFs. Dans ce chapitre nous allons introduire les réseaux de capteurs sans fil, en présentant leurs différents composants, l'architectures et leurs domaines d'applications.

### 1.2 Quelques définitions

#### 1.2.1 Réseau

Un réseau est un ensemble d'objets interconnectés. Il permet de faire circuler des éléments entre chacun de ces objets selon des règles bien définies.

Réseau informatique : ensemble d'ordinateurs reliés entre eux grâce à des lignes physiques et échangeant des informations sous forme de données numériques (des valeurs binaires, c'est-à-dire codées sous forme de signaux pouvant prendre deux valeurs : 0 et 1)[1].

#### 1.2.2 Réseau sans fil

Un réseau sans fil est un réseau qui raccorde des machines via une liaison radio, sur une infrastructure qui est elle-même filaire ou radio, voir sans infrastructure du tout [2].

#### 1.2.3 Réseau ad hoc

Un réseau ad hoc est un réseau sans fil multi-sauts composé d'un ensemble de terminaux, éventuellement mobiles et hétérogènes, utilisant des communications radio pour s'échanger des

informations entre eux. Ces réseaux sont généralement dits autonomes et spontanés, c'est-à-dire qu'ils sont capables de s'auto-organiser, de s'auto-configurer et de fonctionner sans la présence d'une infrastructure centralisée. Le principal intérêt de ce type de réseaux est la possibilité de les déployer facilement n'importe où et n'importe quand avec un minimum d'effort d'administration [3].

### 1.2.4 Capteur sans fil

Les capteurs sont des dispositifs électroniques de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, etc.) et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base [4].

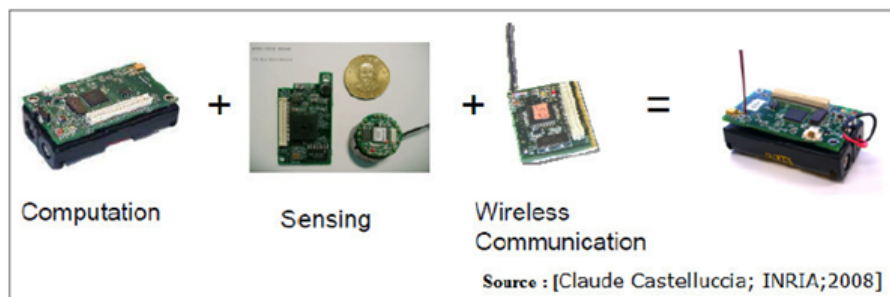


FIGURE 1.1 – Composants d'un capteur [4]

### Composants d'un capteur sans fil

Un capteur sans fil est doté, principalement d'une unité de [4] : captage, traitement, communication, stockage et énergie. D'autres modules peuvent être ajoutés selon le domaine d'application comme une unité de localisation, afin d'identifier la position géographique d'un capteur tel qu'un GPS (Global Position System), un mobilisateur pour que les capteurs puissent se déplacer et un générateur de puissance tel que des cellules solaires afin d'alimenter électriquement le capteur sans avoir à changer ses batteries [4].

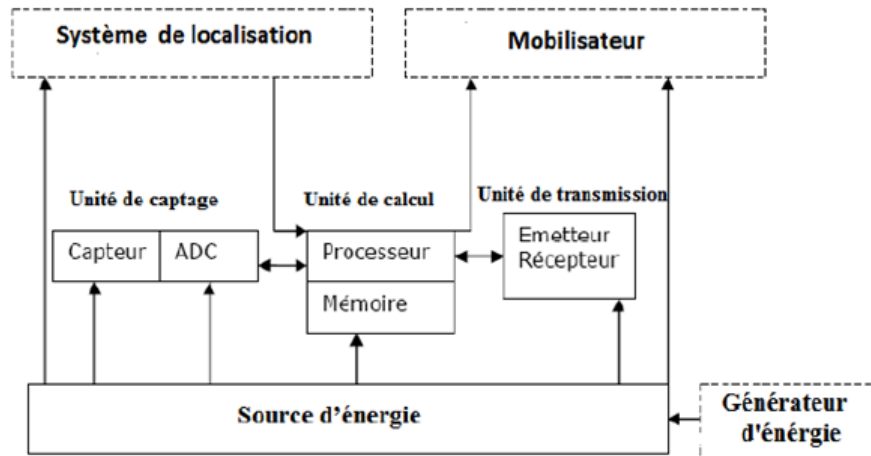


FIGURE 1.2 – Architecture d'un capteur [4].

**1. Unité de captage :** elle est constituée de deux composants, un dispositif qui intercepte les données du monde physique et les transforme en signaux analogiques, et un convertisseur analogique/numérique qui transforme ces signaux analogiques en un signal numérique compréhensible par l'unité de traitement.

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

**3. Unité de communication :** elle est responsable des émissions et réceptions des données sur un médium sans fil. Elle se base sur les technologies sans fil à faible portée de communication, Zigbee, Bluetooth ou Wifi.

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

## 1.3 Réseau de capteur sans fil

Un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF) est un ensemble de dispositifs très petits, nommés noeuds capteurs, variant de quelques dizaines d'éléments à plusieurs milliers. Dans ces réseaux, chaque noeud 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 [5].

### 1.3.1 Architecture d'un RCSF

Tous les capteurs respectent globalement la même architecture basée sur un noyau central autour duquel s'articulent les différentes interfaces d'entrée-sortie, de communication et

d'alimentation [6],[7]. La figure 3 montre un exemple d'un réseau de capteurs.

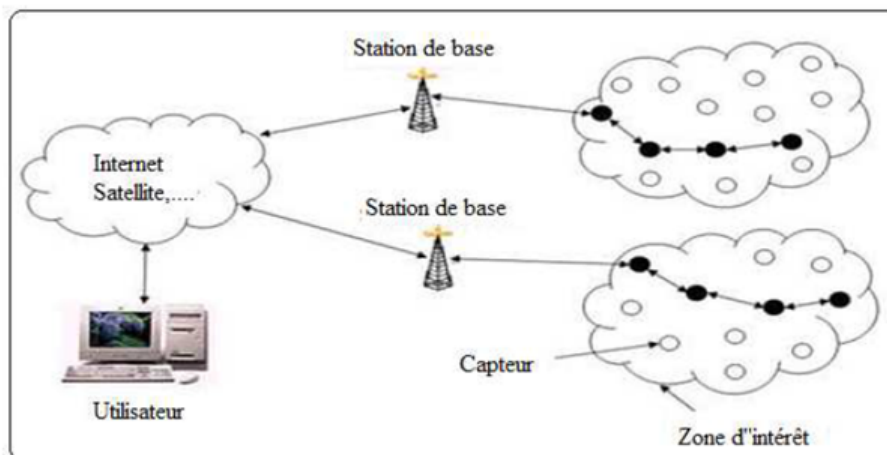


FIGURE 1.3 – Exemple d'un réseaux de capteurs.

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

### 1.3.2 Caractéristiques des réseaux de capteurs

Parmi les caractéristiques les plus importantes d'un réseau de capteurs, nous citons [8] :

#### La durée de vie limitée

Les nœuds capteurs sont très limités par la contrainte d'énergie, ils fonctionnent habituellement sans surveillance dans des régions géographiques éloignées. Par conséquent recharger ou remplacer leurs batteries devient quasiment impossible.

#### Ressources limitées

Habituellement les noeuds capteurs ont une taille très petite, ce facteur de forme limite la quantité de ressources qui peuvent être mises dans ces noeuds. En conséquence, la capacité de traitement et de mémoire est très limitée.

#### Topologie dynamique

La topologie des réseaux de capteurs change d'une manière fréquente et rapide car : les noeuds capteurs peuvent être déployés dans des environnements hostiles (par exemple un champ de bataille), la défaillance d'un noeud capteur peut donc être très probable. De plus, les noeuds capteurs et les noeuds finaux où ils doivent envoyer l'information capturée peuvent être mobiles.

## Agrégation des données

Dans les réseaux de capteurs, les données produites par les noeuds capteurs sont très reliées, ce qui implique l'existence de redondances de données. Une approche répandue consiste à agréger les données au niveau des noeuds intermédiaires afin de réduire la consommation d'énergie lors de la transmission de ces données.

## Bande passante limitée

En raison de la puissance limitée, les noeuds capteurs ne peuvent pas supporter des débits élevés.

## Sécurité physique limitée

Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui minimisent le contrôle des données transmises.

### 1.3.3 Contraintes de conception des RCSF

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit :

#### La tolérance aux fautes

la tolérance aux fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau en présence de fautes. La fiabilité des réseaux de capteurs sans fil est affectée par des défauts qui se produisent à cause de diverses raisons telles que le mauvais fonctionnement du matériel ou à cause d'un manque d'énergie. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau [9, 10].

#### Le facteur d'échelle (Scalability)

le nombre de noeuds de capteurs augmente sur un réseau sans fil et ce nombre peut atteindre le million. Un nombre aussi important de noeuds engendre beaucoup de transmissions entre les noeuds et peut imposer des difficultés pour le transfert de données [11].

#### Les coûts de production

souvent les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de noeuds. Le prix d'un noeud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel [7].

#### L'environnement

les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés,... Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées [12].

#### La topologie de réseau

le déploiement d'un grand nombre de noeuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases : déploiement, post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner,...) et redéploiement de noeuds additionnels [13].

## Les contraintes matérielles

La principale contrainte matérielle est la taille du capteur. Les autres contraintes sont la consommation d'énergie qui doit être moindre pour que le réseau survive le plus longtemps possible, qu'il s'adapte aux différents environnements (fortes chaleurs, eau,..), qu'il soit autonome et très résistant vu qu'il est souvent déployé dans des environnements hostiles [14].

## Les médias de transmission

Dans un réseau de capteurs, les noeuds sont reliés par une architecture sans fil. Pour permettre des opérations sur ces réseaux dans le monde entier, le média de transmission doit être standardisé. On utilise le plus souvent l'infrarouge, le Bluetooth et les communications radio Zig Bee [15].

## La consommation d'énergie

un capteur est limité en énergie (<1.2V). Dans la plupart des cas le remplacement de la batterie est impossible. Ce qui veut dire que la durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs (multi-sauts) chaque noeuds collecte des données et envoie/transmet des valeurs. Le dysfonctionnement de quelques noeuds nécessite un changement de la topologie du réseau et un re-routage des paquets. Toutes ces opérations sont gourmandes en énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation [16][17].

# 1.4 Domaine d'application des réseaux de capteur sans fil

Les RCSF peuvent avoir beaucoup d'applications (voir figure 1.4). Parmi elles, nous citons [18] :

**a.Découvertes de catastrophes naturelles :** On peut créer un réseau autonome en dispersant les nœuds dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tel que les feux de forêts, les tempêtes ou les inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours.

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

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

**d.Contrôle de la pollution :** On pourrait disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettraient de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe.



**e. Agriculture :** Des nœuds peuvent être incorporés dans la terre. On peut ensuite questionner le réseau de capteurs sur l'état du champ (déterminer par exemple les secteurs les plus secs afin de les arroser en priorité). On peut aussi imaginer équiper des troupeaux de bétail de capteurs pour connaître en tout temps, leur position ce qui éviterait aux éleveurs d'avoir recours à des chiens de berger.

**f. Surveillance médicale :** En implantant sous la peau de mini capteurs vidéo, on peut recevoir des images en temps réel d'une partie du corps sans aucune chirurgie pendant environ 24h. On peut ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle.

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

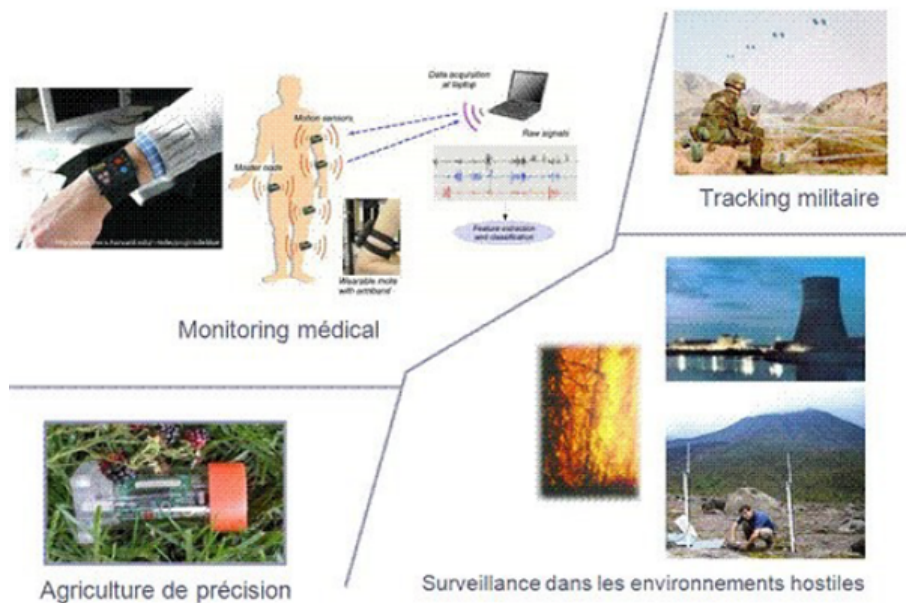


FIGURE 1.4 – Domaine d'applications des RSCFs [18].

## 1.5 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil, Nous avons vu qu'ils présentent un intérêt considérable et réalisent une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication.

La conception de réseaux de capteurs autonomes, reliés par des liens sans fil, est un domaine de recherche très actif qui suscite un intérêt croissant vu la diversité de ces applications.

Le routage de données est considéré comme le domaine le plus exploré parmi les domaines de recherche sur les réseaux de capteur. Il représente aussi un problème complexe car nous devons assurer la fiabilité de livraison de données, la performance du système et tout cela en

consommant moins d'énergie. Cela nous a mené à faire une étude des principaux protocoles de routage proposés dans le chapitre qui suit.

# Chapitre 2

## Le routage dans les réseaux de capteur sans fil

### 2.1 Introduction

L'acheminement des données est un service très important dans les réseaux de capteurs. Il doit permettre l'arrivée des données à la station de base avec le minimum de pertes et de dissipation d'énergie. Son problème consiste à déterminer un routage des paquets à travers le réseau suivant certains critères de performance comme la consommation énergétique, c'est une tâche difficile qui nécessite un travail de collaboration de l'ensemble des nœuds capteurs participant à ce transfert. Pour un routage optimal, de nombreux protocoles de routage ont été proposés et doivent maintenir le bon fonctionnement du réseau. Dans ce qui suit nous allons classer ces protocoles de routage et citer quelques défis rencontrés.

### 2.2 Consommation d'énergie dans les RCSF

Un capteur utilise son énergie pour réaliser trois actions principales : l'acquisition, la communication et le traitement des données[19] :

#### 2.2.1 Énergie de capture

L'énergie de capture est dissipée pour accomplir les tâches suivantes : échantillonnage, traitement de signal, conversion analogique/numérique et activation de la sonde de capture. En général, l'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommée par un nœud.

#### 2.2.2 Énergie de traitement

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

### 2.2.3 Énergie de communication

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

## 2.3 Facteurs de conception des protocoles de routage

Malgré les innombrables applications de RCSF, ces réseaux ont plusieurs restrictions. La conception de protocoles de routage en RCSFs est influencée par de nombreux facteurs difficiles qui doivent être surmontés avant qu'une communication efficace en RCSFs soit atteinte [20].

### Le déploiement des nœuds

le déploiement des nœuds dans RCSFs dépend de l'application et affecte les performances du protocole de routage qui peut être à base déterministe ou aléatoire. Dans le déploiement déterministe, les capteurs sont placés manuellement et les données sont acheminées par des chemins proche(pre- paths). Dans le déploiement aléatoire, les nœuds de capteurs sont dispersés au hasard créant une infrastructure d'une manière ad hoc. Si la distribution résultante des noeuds n'est pas uniforme, le regroupement optimal devient nécessaire pour permettre la connectivité et permettre un fonctionnement à énergie-efficace du réseau .

### La consommation d'énergie sans perte de précision

les nœuds de capteurs peuvent utiliser leur offre limitée d'énergie pour effectuer des calculs et transmettre de l'information dans un environnement sans fil, mais leur durée de vie dépendant fortement d'une batterie, par conséquent toutes formes de communication et de calcul à conservation d'énergie est essentielles.

### Modèle de livraison de données

La détection des données en RCSFs dépend de l'application et du temps critique de la communication des données. Cette dernière peut être classée comme timedriven (continu), event-driven, query-driven et hybride. Le protocole de routage est fortement influencée par le modèle de la communication des données en ce qui concerne la consommation d'énergie et la stabilité de l'itinéraire.

### Tolérance aux pannes

Certains nœuds de capteurs peuvent échouer ou être bloqué en raison d'un manque de puissance, des dommages physiques, ou des interférences de l'environnement. Si de nombreux nœuds échouent, MAC et les protocoles de routage doivent fournir une formation de nouveaux liens et routes pour la collecte de données de la station de base qui nécessite l'ajustement active de puissances d'émission et le taux de signalisation sur les liens existants pour réduire la consommation d'énergie ou le ré-acheminement des paquets à travers des régions du réseau

où l'énergie est plus disponible. Par conséquent, plusieurs niveaux de redondance peuvent être nécessaires dans un réseau de capteurs à tolérance de pannes.

### **Connectivité**

une haute densité de noeud dans les réseaux de capteurs les empêche d'être complètement isolés les uns des autres. Par conséquent, les noeuds de capteur sont censés être fortement connectés. Ceci, cependant, ne peut pas empêcher la topologie du réseau de devenir variable et le rétrécissement de la taille du réseau dû à la défaillances du noeud capteur. En outre, la connectivité dépend éventuellement de la distribution aléatoire des noeuds.

### **Qualité de service**

Dans certaines applications, les données doivent être délivrés dans un certain laps de temps à partir du moment où elle sont détectée; sinon elles seront inutiles. Par conséquent, une latence bornée pour la livraison des données est une autre condition pour les applications à contrainte de temps. Comme l'énergie est épuisée, le réseau aura besoin de réduire la qualité des résultats afin de réduire la dissipation d'énergie dans les noeuds et donc prolonger la durée de vie totale du réseau. Par conséquent, les protocoles de routage a courant énergétique sont nécessaires pour capturer cette exigence.

### **Environnement d'exploitation**

Nous pouvons mettre en place un réseau de capteurs à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans un champ biologiquement ou chimiquement contaminée, dans un champ de bataille au-delà des lignes ennemies, dans une maison ou un grand bâtiment, dans un grand entrepôt, attachée aux animaux, attachés à des véhicules en mouvement rapide, dans une zone forestière pour la surveillance de l'habitat, etc.

### **Coûts de production**

Étant donné que les réseaux de capteurs sont constitués d'un grand nombre de noeuds de capteurs, le coût d'un noeud unique est très important pour justifier le coût global des réseaux et donc le coût de chaque noeud de capteur doit être maintenue faible.

## **2.4 Classification des protocoles de routages**

Les protocoles de routage ont été classé dans [21][22]selon plusieurs critères représenter par la figure :

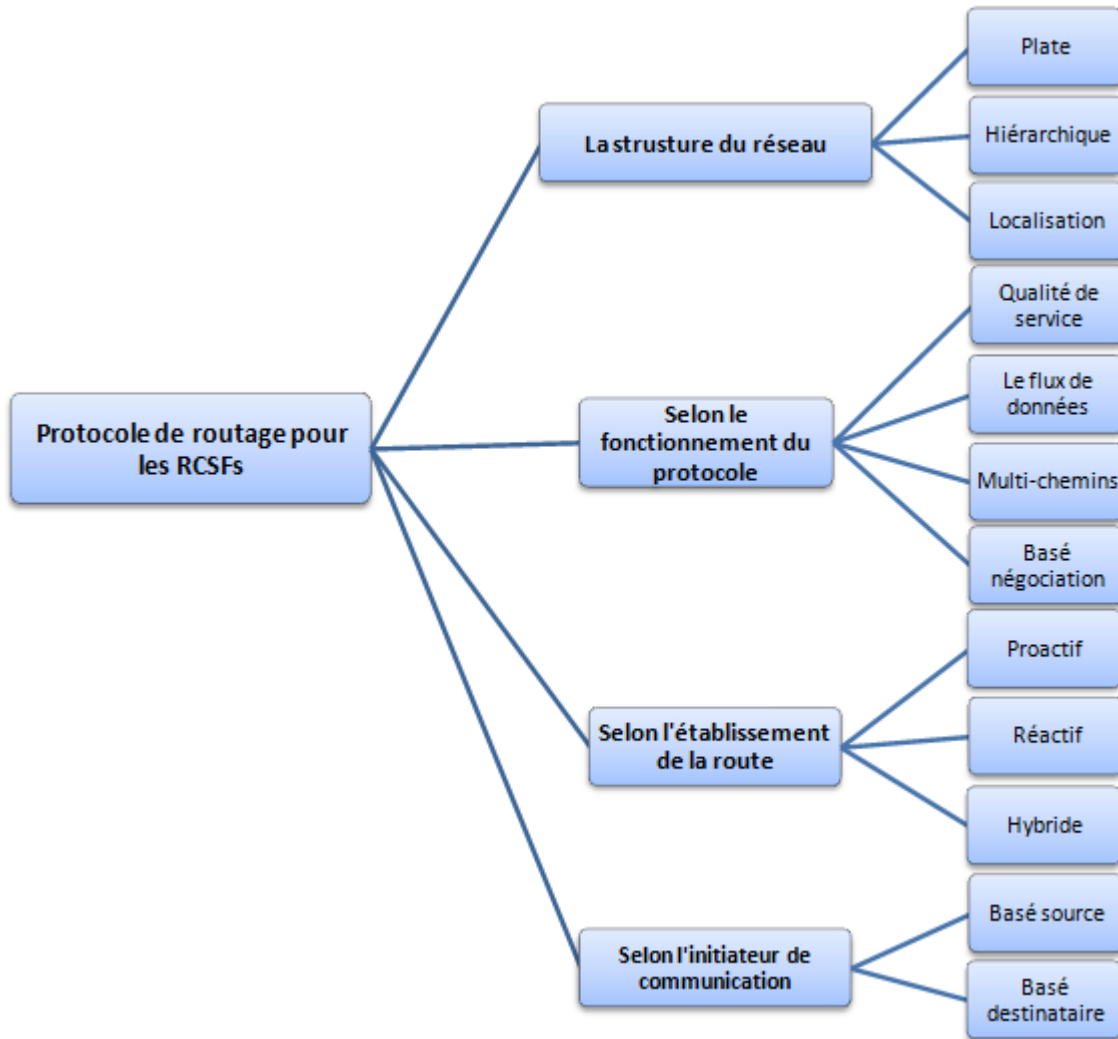


FIGURE 2.1 – Diagramme de classification des protocoles de routages.

### 2.4.1 Selon la structure du réseau :

Il détermine l'organisation des capteurs dans le réseau. Il peut être classé en trois catégories :

#### A-Le routage de Donnée central (à plat)

Dans une topologie plate, tous les noeuds capteurs ont le même rôle et collaborent entre eux pour accomplir la tâche de routage. Les réseaux plats sont caractérisés par : la simplicité des protocoles de routage, une grande tolérance aux pannes ainsi qu'une habilité à construire de nouveaux chemins suite aux changements de topologie. Cependant, Les noeuds proches de la station de base participent plus que les autres dans le processus de routage. De plus, les performances de ces réseaux se dégradent quand le nombre de noeuds augmente [21] .

### 1. La diffusion dirigée [23][24] :

La diffusion dirigée est un protocole important dans le routage data-centric des réseaux de capteurs. L'idée vise à diffuser des données aux noeuds en utilisant un schéma de nommage pour les données. La raison principale derrière l'utilisation d'un tel système est de se débarrasser des opérations inutiles de routage de couche réseau afin d'économiser l'énergie.

La diffusion dirigée suggère l'utilisation de paires attribut-valeur pour les données et les requêtes des capteurs. Afin de créer une requête, un noeud est défini à l'aide d'une liste de paires attribut-valeur comme le nom des objets, l'intervalle, la durée, la zone géographique, etc. Un paquet est diffusé par ce noeud vers la destination à travers ses voisins. Chaque noeud qui reçoit les paquets peut les stocker pour une utilisation ultérieure. Les paquets stockés sont ensuite utilisés pour comparer les données reçues. La requête contient aussi plusieurs champs de gradient. Un gradient est un lien de réponse avec un voisin dont le paquet a été reçu et qui est caractérisé par le débit, la durée et la date d'expiration des données. Ainsi, en utilisant les intérêts et les gradients, les routes sont établies entre la destination et les sources. Plusieurs routes peuvent être établies de telle sorte que l'une d'elle est choisie par renforcement. La destination renvoie le message d'intérêt initial à travers la route choisie.

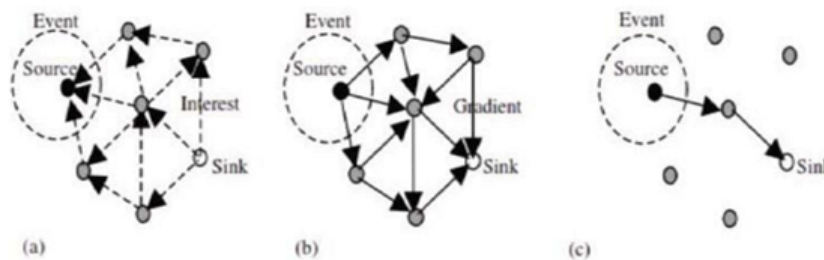


FIGURE 2.2 – description de protocole de diffusion dirigée (a) propagation d'intérêt (b) configuration de gradients initiale (c) livraison de données renforcée [23].

### 2. Flooding et Gossiping

sont deux mécanismes classiques pour relayer les données dans les réseaux de capteur sans avoir besoin d'aucun des algorithmes de routage et le maintien de la topologie. Dans Flooding, chaque capteur va recevoir un paquet de données a diffusé à tous ses voisins, ce processus continue jusqu'à ce que le paquet arrive à la destination ou le nombre maximal de sauts pour le paquet est atteint. D'autre part, Gossiping est une version légèrement améliorée de Flooding où le noeud récepteur envoie le paquet à un voisin choisi au hasard, qui prend un autre voisin aléatoirement pour lui transmettre le paquet ainsi de suite.

les Flooding ont plusieurs inconvénients. Ces inconvénients comprennent l'implosion causée par des messages doubles envoyés au même noeud, chevauchement lorsque deux noeuds capteurs de la même région envoient un paquet similaire au même voisin et la cécité des ressources par la consommation de grande quantité d'énergie sans considération des contraintes énergétiques. Gossiping évitent le problème de l'implosion en sélectionnant simplement un noeud aléatoire pour envoyer le paquet plutôt que de la radiodiffusion. Cependant, il cause des retards de propagation des données à travers les noeuds [25].

## B- Le routage hiérarchique

Dans l'architecture hiérarchique, les noeuds de capteur sont organisés dans des groupes, où un noeud avec une basse énergie peut être utilisé pour exécuter la tâche de détection et envoyer les données détecté au cluster Head avec une courte distance, tandis qu'un noeud avec une énergie plus haute peut être choisi comme un cluster head pour agréger les données de ses membres et l'expédier au puits [27]. Ce processus peut non seulement réduire la consommation d'énergie, mais d'équilibrer aussi la charge de trafic et améliore l'adaptabilité [28].

**TEEN** Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol [26] : TEEN est un protocole de regroupement qui cible un réseau réactif et permet aux têtes de groupe d'imposer une contrainte sur les noeuds de capteur quand ils doivent rapporter les données détectés. Chaque tête de groupe émet à ses membres une valeur, appelé hard thershold (HT), a partir de l'attribut détecté un capteur devrait allumer son émetteur pour rapporter sa données détecté au cluster Head. Le cluster Head émet aussi une autre valeur, appelé soft thershold (ST), qui indique une petite modification dans la valeur de l'attribut détecté, son émetteur allumant ainsi le capteur et envoie des données au cluster Head. TEEN est un protocole hiérarchique conçu pour être sensible à des changements soudains des attributs détecté comme la température. TEEN poursuit une approche hiérarchique avec l'utilisation du mécanisme des données centrales.

**EBCRP** (Energy-Balanced Chain-Cluster Routing Protocol)[29] :

c'est un algorithme hiérarchique distribué avec une topologie de cluster a base de chaîne pour les RCSFs. le schéma de Routage est basé sur l'idée que chaque noeud transmet des données égales et seulement une communication de courte distance qui est exécutée parmi les différent noeuds. Seule les noeuds voisins communiquent avec d'autres sauf les CHs. La mise en oeuvre d'EBCRP peut être divisée en trois phases :

- 1) formation de la chaîne cluster ;
- 2) sélection de la tête de cluster ;
- 3) stationnaire.

Dans l'étape de la formation de la chaîne de cluster, le réseau est divisé en sections rectangulaires multiples qui sont équivalent aux différents clusters, et une chaîne de Routage est créée dans chaque section rectangulaire par l'algorithme d'échelle au lieu de l'algorithme avide. Ainsi, la longue distance de communication est enlevée.

Dans l'étape de sélection des clusters Head, plusieurs noeuds agissent comme des CHs et communiquent avec la SB à tour de rôle .la sélection des CHs est exécutée selon l'énergie résiduelle des différents noeuds.

Dans l'étape stationnaire le CHs est semblable aux leaders de PEGASIS, rassemble des données des autres noeuds tout au long de la chaîne de cluster et envoient directement les données a la SB. Ce processus est répété jusqu'à ce qu'un noeud épuise son énergie entière. A ce point, la phase stationnaire est finie.

**HEED** Hybrid Energy Efficient Distributed [30] : Ce protocole utilise une approche distribuée qui sélectionne le cluster Head sur la base d'énergie et de communication disponibles à la place de la sélection aléatoire. HEED est un bon choix pour les modèles de trafic imprévis.

**BCDCP** Base-Station Controlled Dynamic Clustering Protocol [20] :

ce protocole met en place des clusters de sorte qu'ils soient équilibrés[31]. Pour cela, avant que la station de base décide du trajet de routage, elle rassemble d'abord des informations



concernant l'état actuel de l'énergie à partir des noeuds du réseau. En se basant sur la réponse envoyée par les noeuds, la station de base calcule le premier niveau d'énergie moyen de tous les noeuds. Après que la station de base sélectionne un certain nombre de noeuds qui ont des niveaux d'énergie plus grand que la valeur moyenne.

**VGA** Virtual Grid Architecture Routing : Pour maximiser la durée de vie du réseau et pour économiser de l'énergie, le traitement du réseau et l'agrégation de données doivent être fait dans le Protocol VGA [32].

Ce protocole divise son fonctionnement en deux phases [20] :

-Phase de regroupement (clustering) :

Dans cette phase, tous les noeuds dans le réseau sont arrangés dans une certaine topologie. L'agrégation de données est réalisée en deux niveaux : local et global. L'agrégation locale est réalisée par l'ensemble des clusters Heads appelés aussi Local Aggregators (LAs), alors que l'agrégation globale est réalisée par un sous ensemble de LAs appelés Master Aggregators (MAs).

-Phase d'agrégation de données :

Dans la phase d'agrégation de données, certaines approches heuristiques sont utilisées afin d'obtenir une solution facile, équitable, efficace et optimale. Cependant, la détermination de l'ensemble MAs est un problème NP-difficile. Les heuristiques qui ont été proposées pour former l'ensemble MAs à partir de l'ensemble LAs, avaient comme objectif la maximisation de la durée de vie des réseaux de capteurs.

**HPAR** Hierarchical Power Aware-Routing [31][33] :

Le HPAR est un protocole de routage puissant conscient, le total des noeuds disponibles dans les réseaux sont divisés en un groupe appelé des zones. Chaque zone est créée de telle façon que tous les noeuds qui sont géographiquement plus proches les uns des autres sont gardés dans la même zone et sont traités comme une entité. Le fonctionnement de ce protocole est divisé en deux étapes :

-La première est la formation des zones de cluster et la deuxième est le fonction du schéma de routage.

Dans la deuxième étape : la méthodologie de calcul d'itinéraire est décidée ainsi qu'un message est acheminé à travers d'autres zones hiérarchiquement par lequel la vie de la batterie des noeuds dans le système est maximisée. Ceci peut être fait selon un message qui est acheminé le long d'un chemin avec une puissance maximale sur tout le minimum des puissances restantes. Ce chemin est appelé le chemin Max-Min. La raison de prendre une telle décision est qu'il peut être possible que le chemin de puissance résiduelle élevée a plus d'énergie que l'utilisation de la voie d'énergie minimale. Ce protocole utilise un algorithme d'approximation appelé algorithme Max-Min ZPmin. L'algorithme de Dijkstra est le premier algorithme qui a découvert un chemin avec une faible consommation d'énergie. La force de ce protocole est qu'il considère la puissance de transmission et utilise la puissance de la batterie minimale du noeud dans le chemin afin que la vie du réseau soit maximisée. Cependant, il crée des zones pour la totalité des noeuds disponibles dans le réseau. Mais d'un autre côté il y aura une surcharge sur le réseau due à la constatation de la puissance d'estimation.

**DHAC** Distributed hierarchical agglomerative clustering [20] :

Le plan de base dans le routage DHAC est que pour créer des clusters un noeud a besoin de connaître un seul voisin d'étape. Les étapes suivantes doivent être suivies dans le DAHC lorsqu'un cluster doit être formé :

- Dans la première étape chaque noeud présent dans le réseau se représente comme un cluster

Head et transmet l'information à un autre en envoyant le message 'hello', ensuite une matrice de ressemblance doit être construite sur la base des données de l'entrée reçues par les noeuds du réseau .

- Dans la deuxième étape l'algorithme DHAC s'exécute c.-à-d. chaque groupe établit sa propre matrice de ressemblance privé et obtient la valeur du coefficient minimal, une fois le coefficient trouver chaque cluster détermine son cluster Head minimal.
- La troisième étape consiste à couper l'arbre de classification hiérarchique c-à dire que si une limite maximale prédéfinie de cluster est atteint, les conditions de contrôle correspondent à l'étape de couper l'arbre de classification hiérarchique.
- Dans la quatrième étape la taille du cluster peut être contrôlée c- à-dire si, après l'exécution de l'algorithme DHAC le nombre de cluster sont inférieur au nombre de la limite minimale que les clusters peuvent fusionnées en effectuant l'opération "MERGE CLUSTERS".
- Enfin, dans la cinquième étape les clusters Head sont sélectionnés. Pour cela, le DHAC choisit le plus bas id noeud entre les deux noeuds qui ont rejoint le cluster dans la première étape. Le CH choisi ne nécessite pas de traitement supplémentaire.

#### **NHRPA** Novel Hierarchical Routing Protocol Algorithm :

L'algorithme NHRPA utilise la méthodologie de routage appropriée pour les noeuds qui sont relatif à l'énergie résiduelle, la densité à laquelle les noeuds sont répartis et la distance entre les noeuds et BS (Base Station)[34].

Un noeud RCSF est principalement traité en trois opérations à savoir les opérations en boucle, les opérations de jugement, et les opérations d'affectation, donc l'algorithme de routage proposé devrait réduire au minimum le coût de calcul nécessaire dans les trois opérations.

#### **ELCH** Extending Life time of Cluster Head [20][35] :

Dans le protocole de ELCH pour la sélection de cluster Head tous les noeuds disponibles dans les réseaux votent pour leurs voisins. Ce protocole utilise une approche hybride, il permet de consommer peu d'énergie et prolonge ainsi la durée de vie du réseau, cette approche combine l'architecture de cluster, avec un routage multi-saut. Ce protocole fonctionne en deux phases : -Phase d'installation : formation des clusters et élection de cluster-Head ; Tous les noeuds présents dans le réseau vote pour leurs capteurs voisins. Celui qui reçoit un plus grand nombre de vote devient le cluster Head.

Phase D'état stable : Dans cette phase, les clusters sont créés, ils sont formés de telle sorte que dans n'importe quel cluster un cluster-Head et des capteurs existent. La sélection des capteurs dans n'importe quel cluster dépend de l'emplacement du capteur, Puis, le slot de temps TDMA pour chaque élément du cluster dans chaque round est utilisée. Pour minimiser l'énergie de transmission et équilibrer le rendement énergétique dès que les clusters ont été créés, un routage épine dorsale multi-saut est formée par le cluster Head. Chaque noeud ensuite transmet ses données directement au cluster Head. En outre, pour la communication entre le cluster Head et le puits, un routage multi-sauts est adopté.

#### **APTEEN** Adaptive Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network [26] :

Son objectif est de capturer les collections de données périodiques et de réagir aux événements de temps critique. Dès que les clusters sont formés par la station de base, tous les attributs doivent être envoyés à tous les noeuds du réseau par le cluster Head en utilisant la radiodiffusion.

- les clusters Head effectue l'agrégation de données pour économiser de l'énergie. Toutefois, le principal échec de APTEEN est le long temps de retard à cause de la complexité du système. APTEEN est une extension de TEEN et cible les réseaux tant réactifs que proactifs.

**PEGASIS** Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems [36] :

L'idée de base de ce protocole est que chaque nœud transmet à ou reçoit de son voisin le plus proche et continue la transmission jusqu'au leader qui les transmet à son tour à la SB. Cette approche distribue de façon égale la charge énergétique des nœuds de capteurs dans le réseau. Nous allons placer initialement les nœuds aléatoirement dans la zone de jeux, de plus le  $i$ -ème nœuds est dans une localisation aléatoire. Les nœuds seront organisés pour former des chaînes, qui peuvent être accomplies par les nœuds de capteur eux-mêmes en utilisant un algorithme avide en commençant par certains nœuds. Alternativement, la SB peut calculer ces chaînes et les diffuser pour tous les nœuds de capteur.

L'approche avide fonctionne bien dans la construction des chaînes et se termine avant la fin du premier round de la communication. La construction des chaînes démarre avec les nœuds les plus éloignés de la station de base. Elle commence avec ce nœud pour être sûre que les nœuds les plus éloignés de la SB aient des voisins proches, comme dans l'algorithme avide la distance des voisins va diminuer graduellement quand les nœuds de la chaîne ne peuvent être revisités. La figure 2.4 montre le nœud 0 connecté au nœud 3, le nœud 3 connecté au nœud 1, et le nœud 1 connecté au nœud 2 dans cet ordre. Quand un nœud meurt, la chaîne est reconstruite avec la même manière pour éviter les nœuds morts.

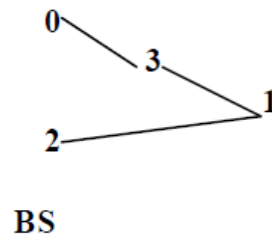


FIGURE 2.3 – Construction d'une chaîne en utilisant un algorithme avide [36].

Noter que le nœud  $i$  va être dans une certaine position aléatoire  $j$  dans la chaîne. Les nœuds continuent leurs transmissions à la station de base, et le nœud numéro  $i \bmod N$  ( $N$  représente le nombre de nœuds) est utilisé pour transmettre à la BS dans le round  $i$ . Ainsi le leader dans chaque round de communication va être dans une position aléatoire de la chaîne, ce qui est important pour les nœuds de mourir dans des localisations aléatoires. L'idée des nœuds morts dans des places aléatoires est de rendre un réseau de capteur robuste aux échecs. Dans un round donné on peut utiliser un contrôle (jeton) simple en prenant une approche de départ initié par le leader pour commencer la transmission de données à partir de la fin de la chaîne. Les coûts sont très petits une fois la taille du jeton est très petite. Dans la figure 2.5, le nœud  $c_2$  est le leader, et va passer le jeton tous au long de la chaîne au nœud  $c_0$ . Le nœud  $c_0$  va passer ces données vers le nœud  $c_2$ . Après que le nœud  $c_2$  ait reçu les données du nœud  $c_1$ , il va passer le jeton (le leader) au nœud  $c_4$ , et le nœud  $c_4$  va passer ces données vers le nœud  $c_2$ .

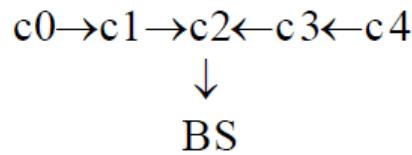


FIGURE 2.4 – Approche de passage avec jeton [36].

PEGASIS exécute la fusion des données par chaque nœud excepté le dernier nœud de la chaîne. Chaque nœud va fusionner les données de son voisin avec les siennes pour générer un unique paquet avec la même longueur et les transmet à un autre voisin (s'il a deux voisins). Dans l'exemple ci-dessus, le nœud  $c0$  va passer ses données au nœud  $c1$  le nœud  $c1$  fusionne les données du nœud  $c0$  avec ces données à lui et les transmet au leader. Après le nœud  $c2$  passe le jeton au nœud  $c4$ , le nœud  $c4$  transmet ces données au nœud  $c3$ . Le nœud  $c3$  fusionne les données du nœud  $c4$  avec les siennes et les transmet au leader. Le nœud  $c2$  attend de recevoir les données de l'ensemble des nœuds et les fusionnent avec ces données. Finalement, le nœud  $c2$  transmet un message à la station de base.

Ainsi, dans PEGASIS chaque nœud va recevoir et transmettre un paquet dans chaque round et devient le leader une fois tous les 100 rounds. Avec la construction des chaînes, il est possible que certains nœuds aient relativement des voisins distants tout au long de la chaîne. Un tel nœud va dissiper beaucoup plus d'énergie dans chaque round comparé aux autres capteurs. Stephanie Lindsey and Cauligi S. Raghavendra ont amélioré les performances de PEGASIS en ne pas autorisant de tel nœud à devenir des leaders. On a accompli ceci en fixant un seuil dans une distance de voisin pour devenir des leaders. A chaque fois qu'un nœud meurt, la chaîne doit être reconstruite et le seuil doit être changé pour déterminer quel nœud deviendra un leader.

PEGASIS améliore LEACH en économisant l'énergie dans plusieurs phases. En premier, dans un rassemblement local, la distance par laquelle la plus part des nœuds transmettent est plus basse comparé avec la transmission vers les clusters Head dans LEACH. En second, la quantité des données à recevoir par le leader est au maximum 2 messages ou lieu de 20 (20 nœud par cluster dans LEACH pour un réseau à 100 nœud). Finalement, un seul nœud transmet à la SB dans chaque round de communication.

#### **LEACH** Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy [19,37] :

LEACH est un auto-organisateur, le protocole de clustering adaptative qui utilise la répartition aléatoire pour répartir la charge de l'énergie uniformément parmi les capteurs dans le réseau. Dans LEACH, les nœuds s'organisent en groupes locaux, avec un nœud qui agit comme une station de base locale ou cluster-head. Si les clusters head ont été choisis a priori et ont fixé l'ensemble de durée de vie du système, comme dans l'algorithme de classification classiques, il est facile de voir ce que les capteurs mal chanceux ont choisis d'être des cluster head et meurt rapidement, et mettre fin à la durée de vie utile de tous les nœuds appartenant à ces groupes. Ainsi LEACH inclut la rotation aléatoire de l'énergie intense de la position du cluster-head de telle rotation entre les différents capteurs c'est pour ne pas épuiser la batterie d'un seul capteur. De plus, LEACH effectue la fusion de données locale pour "compresser" la quantité de données étant envoyée à partir des groupes à la station de base, ce qui réduit en outre la dissipation d'énergie et l'amélioration de la durée de vie du système.

Les Capteurs s'élisent eux-mêmes pour être des clusters head locales à un moment donné avec une certaine probabilité. Ces nœuds clusters head diffusent leur statut aux autres nœuds cap-

teurs dans le réseau. Chaque nœud capteur détermine à quel groupe il veut appartenir en choisissant le cluster-head qui nécessite un minimum d'énergie de communication. Une fois que tous les nœuds sont organisés en groupes, chaque cluster head crée un ordonnancement pour les nœuds de son groupe. Cela permet à la radio composante de chaque nœud non-cluster-head d'être éteinte en tout temps sauf pendant son temps de transmission, réduisant ainsi l'énergie dissipée dans les capteurs individuels. Une fois le cluster-head a toutes les données des nœuds dans son groupe, le nœud cluster-head agrège les données, puis transmet les données compressées à la station de base.

Une fois que le cluster head a épuisé son énergie, il ne fonctionnera plus, et tous les nœuds qui appartiennent au cluster perdront la capacité de communiquer. Ainsi, LEACH fait la rotation aléatoire de la position du cluster head de haute énergie parmi les capteurs pour éviter de vider la batterie d'un quelconque capteur dans le réseau. De cette façon, la charge d'énergie de cluster head est répartir uniformément entre les nœuds.

L'opération de LEACH est divisée en rounds. Chaque round commence par une phase set up lorsque les grappes sont organisées, suivies de la phase steady- state lorsque les données sont transférées à partir des nœuds clusters head à la SB, comme le montre la Figure 2.6. Les sections suivantes décrivent la sélection de cluster head et la distribution de l'algorithme de formation de cluster et l'opération set up LEACH.

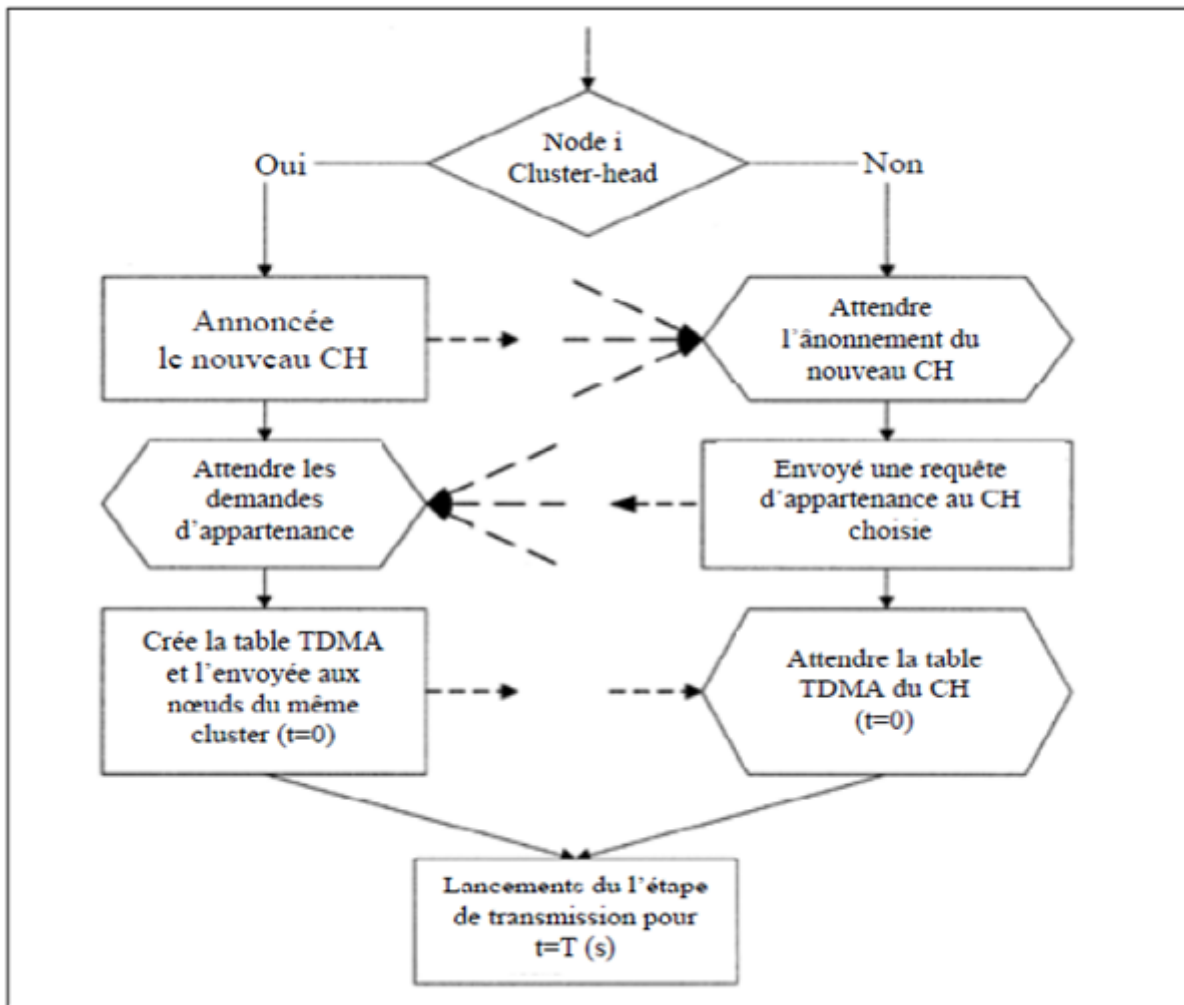


FIGURE 2.5 – Organigramme de l’algorithme de formation de grappes distribué pour LEACH [37].



FIGURE 2.6 – chronologie montrant le fonctionnement de LEACH. Des grappes Adaptive sont formées Pendant la phase set up et les transferts des données qui se produisent pendant la phase set up [37].

1-La phase set up : divisée en trois phase :

la phase d'annonce :

Cette phase commence par l'annonce du nouveau round par le noeud puits et chaque noeud détermine s'il devient ou non un cluster-Head pour le courant round. Cette décision est basée sur le pourcentage suggéré de cluster Head pour le réseau (déterminé a priori) et le nombre de fois que le noeud a été un cluster-Head jusqu'à présent. Cette décision est prise par le noeud  $n$  qui est de choisir un nombre aléatoire compris entre 0 et 1. Si le nombre est inférieur à un seuil  $T(n)$ , le noeud devient un cluster-Head pour le courant Round. Le seuil est fixé comme suit :

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \times (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{si } (n \in G) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Où  $P$  = le pourcentage souhaité de clusters Head (par exemple = 0,05),  $r$  = le round actuel, et  $G$  est l'ensemble des noeuds qui ne sont pas des clusters head dans le dernière  $1/P$  round. En utilisant ce seuil, chaque noeud devient un cluster-Head à un certain point à l'intérieur de  $1/p$  round. Pendant le tour 0 ( $r = 0$ ), chaque noeud à une probabilité  $P$  de devenir un cluster-head. Les noeuds qui sont des clusters head dans le round 0 ne peuvent pas être des clusters head pour le prochain  $1/p$  round. Ainsi, la probabilité que le restant des noeuds seront des clusters head doit être augmentés, car il ya moins de noeuds qui sont admissibles à devenir des clusters head. Après  $1/p - 1$  tours,  $T = 1$  pour tous les noeuds qui n'ont pas encore été des clusters head, et après  $1/p$  tours, tous les noeuds sont de nouveau admissible à devenir des cluster head.

Chaque noeud qui a lui-même été élu cluster head pour le cycle actuel diffuse un message d'annonce au reste des noeuds. Pour cette phase, les clusters head utilisent un protocole CSMA MAC, et tous Les clusters head transmettent leur ordonnancement en utilisant la même énergie de transmission. Les noeuds non-cluster-head doivent garder leurs récepteurs au cours de cette set-up phase et d'entendre les annonces de tous les noeuds du cluster head. Après que cette phase soit complété, chaque noeud non-cluster-Head décide du cluster auquel il appartiendra dans ce round. Cette décision est basée sur l'intensité du signal reçu de l'annonce. En supposant les canaux de la propagation symétriques, le cluster-head annonce avec la plus grande intensité du signal est le cluster-head à qui le montant minimum de la transmission d'énergie est nécessaire pour la communication. Dans le cas d'égalité, un cluster-head est choisi aléatoirement.

phase de création de groupes :

Après que chaque noeud décide à quel groupe il appartiendra, il doit en informer le noeud cluster-Head qu'il sera membre de la grappe. Chaque noeud transmet cette information au cluster-head en utilisant un protocole CSMA MAC. Durant cette phase, tous les noeuds du cluster head doivent garder leurs récepteurs allumés.

Création d'ordonnancement :

Le noeud cluster-Head reçoit tous les messages pour les noeuds qui aimeraient être inclus dans le groupe. Basé sur le nombre de noeuds dans le cluster, le noeud cluster-Head Crée un ordonnancement TDMA pour dire à chaque noeud quand il peut transmettre. Cet ordonnancement est diffusé vers les noeuds du le cluster.

2-La phase steady-state : c'est la phase de transmission des données :

Une fois que les groupes sont créés et l'ordonnancement de TDMA est fixé, la transmission de données peut commencer. En supposant toujours que les noeuds disposent de données à

envoyer, ils les envoient au cours de leur temps de transmission alloué au cluster Head. Cette transmission utilise une quantité d'énergie minimale (choisi sur la base de la force Reçu de l'annonce du cluster-head).

La radio de chaque nœud non-cluster-head peut être éteinte jusqu'au temps de la transmission allouée au nœud, ce qui minimise la dissipation d'énergie dans ces nœuds. Le nœud cluster-head doit garder son récepteur allumé pour recevoir toutes les données des nœuds du cluster. Lorsque toutes les données ont été reçues, le nœud cluster head exécute des fonctions de traitement du signal pour compresser les données en un signal unique. Par exemple, si les données sont des signaux audio ou sismiques, le nœud cluster-head peut combiner les signaux individuels pour générer un signal composé. Ce signal composé est envoyé à la station de base. Si la station de base est loin, ceci devient une transmission à une énergie intense.

Ceci est le fonctionnement de la steady-state phase du protocole LEACH. Après un certain temps, qui est déterminée a priori, le prochain tour commence avec chaque nœud qui détermine s'il doit être un cluster-head pour ce tour et l'annonce de cette information.

### C. Le routage basé sur la localisation

Dans la plupart des cas, les informations d'emplacement sont nécessaires pour calculer la distance entre deux noeuds particuliers pour que la consommation d'énergie puisse être évaluée [26].

#### GAF Geographic Adaptive Fidelity :

Est un protocole basé sur l'emplacement même si il est proposé pour les portables, réseau adhoc (MANETs), il favorise des économies d'énergie et peut ainsi être utilisé pour les RCSFs. si la région détecté est connue, utilisant l'emplacement de capteurs, la question peut être diffusée seulement à cette région réduisant ainsi le nombre de transmissions significativement.

Il est possible de localiser des noeuds par des satellites ou le GPS sur la base de la force de signal a passé entre des noeuds voisins. L'approche commune pour l'économie d'énergie est d'utiliser des modes de sommeil dans des noeuds d'attente qui n'ont aucune activité dans une période de temps. Ceci est l'idée principale derrière GAF.

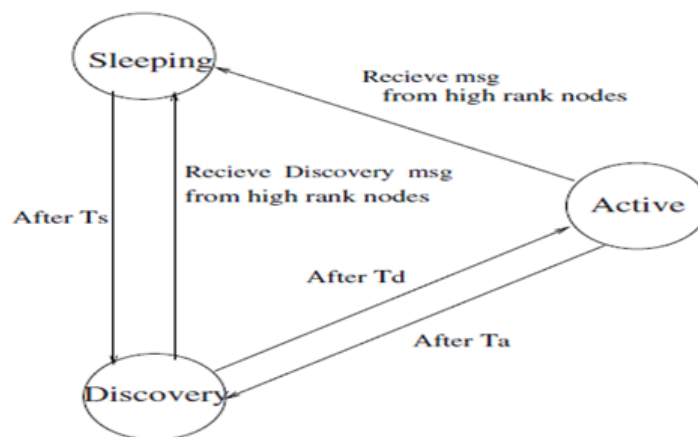


FIGURE 2.7 – Diagramme de Transition D'état pour GAF.

GAF maintient seulement un noeud appelé un noeud actif avec sa radio allumée sur la place de grille et ce noeud actif est responsable de retransmettre le trafic pour le compte de



sa place de grille. Cette responsabilité est tournée parmi tous les noeuds. Quand un noeud change l'état vers la découverte ou l'état actif, il envoie un message d'émission contenant l'ID de noeud, l'ID de la grille et la valeur de fonction de classement. Si un noeud dans la découverte ou l'état actif reçoit un message d'un noeud dans la même grille (réseau) et une valeur plus haute de la fonction de grille il est autorisé de changer son état pour dormir et éteindre son émetteur-récepteur de radio pour le tous temps.

D'habitude la fonction de classement choisit des noeuds avec « la durées de vie attendue la plus longue » comme des noeuds actifs. Dans l'état dormant, le capteur éteint sa radio pour économiser de l'énergie. Dans l'état de découverte, un capteur échange des messages de découverte pour s'initier avec d'autres capteurs dans la même grille. Même dans l'état actif, un capteur émet périodiquement son message de découverte pour informer des capteurs équivalents de son état.

GAF a pour but de maximiser la durée de vie du réseau en atteignant un état où chaque grille a seulement un capteur actif basé sur le capteur classant les règles.

## 2.4.2 Selon le mode de fonctionnement du protocole

ce mode de fonctionnement définit la manière avec laquelle les données sont propagées dans le réseau, le protocole est classé en quatre catégories.

### A. Routage basé sur QoS (qualité de service)

En plus de la minimisation de la consommation d'énergie, il est essentiel de considérer les exigences QoS en termes de retard, de fiabilité et de tolérance aux pannes pour acheminer dans les RCSFs. La tolérance aux pannes aussi bien que la fiabilité exigent le déploiement de beaucoup plus de capteurs que nécessaire pour que le réseau puisse continuer à fonctionner correctement et à livrer des données capter précises au puits malgré quelques échecs de capteur. SAR (Sequential Assignment Routing) est l'un des premiers protocoles de cheminement pour RCSFs qui présente la notion de QoS dans les décisions de routage [26].

**SAR**(Sequential Assignment Routing)[38] : Le routage de décision dans SAR dépend de trois facteurs : ressources énergétiques, QoS sur chaque chemin et le niveau prioritaire de chaque paquet. Pour éviter l'échec de route simple, une approche par trajets multiples et des plans de restauration de chemin localisés sont utilisés.

pour créer des chemins multiples d'un noeud source, un arbre enraciné au noeud source de destination est construit couvrant chaque noeud. SAR est le protocole par trajets multiples axé sur table qui a pour but de réaliser le rendement énergétique et la tolérance aux pannes. SAR calcule un pondéré métrique QoS comme le produit d'additif métrique QoS et le coefficient de poids associé au niveau prioritaire du paquet.

L'objectif de l'algorithme SAR est de minimiser la moyenne a pondéré métrique QoS partout dans la durées de vie du réseau. Comme une mesure préventive, un recalcul périodique de chemins est déclenché par la station de base pour représenter n'importe quels changements de la topologie. Le rétablissement d'échec est fait en respectant le routage de la cohérence de table entre les noeuds amont et aval sur chaque chemin.

### B. Routage basé sur le flux de données

Dans cette approche, la phase d'établissement de routes est modélisée et résolue comme un problème de demande représente le taux auquel les paquets sont produits par les différents

noeuds [39].

### C. Routages basé sur les multi-chemins

Ces protocoles utilisent des chemins multiples au lieu d'un seul chemin pour améliorer la performance du réseau en fournissant la tolérance aux pannes. Ces chemins alternés sont gardés vivants en envoyant des messages périodiques [28].

-Le routage de chemin disjoint : dans le routage par trajets multiples, chaque noeud de capteur source trouve les premiers chemins k les plus courts au puits et divise sa charge également parmi ces chemins.

Les Protocoles par trajets multiples aide a trouvé un petit nombre de chemins alternés qui n'ont aucun capteur en commun l'un avec l'autre et avec le chemin primaire. On dit que ces protocoles sont des protocoles de routage par trajets multiples disjoints de capteur [40].

Dans le routage de chemin disjoint de capteur, le chemin primaire est le meilleur disponible tandis que les chemins alternatifs sont moins désirables comme ils ont la latence plus longue. Etant disjoint fait de ces chemins alternés indépendants du chemin primaire. Ainsi, si un échec arrive sur le chemin primaire, cela reste local et n'affecte aucun de ces chemins alternés. Le puits fait sortir un renfort de chemin principal à son meilleur voisin. Ces répétitions de processus de renfort sont faites jusqu'à la construction du chemin primaire. Après cela, le puits répète la même opération pour son suivant voisin le plus préféré en y faisant sortir un renfort de chemin alterné. Si chaque capteur accepte seulement le premier renfort, on garantit ces chemins alternés pour être disjoint l'un avec l'autre et avec le chemin primaire(principal).

### D. Routage basé sur la négociation

Ce protocole utilise des descripteurs de données de haut niveau appelés des méta-données pour éviter des transmissions de données superflues par négociation. Les décisions de communication sont aussi prises à base des ressources disponibles [28] .

**SPIN**(Sensor Protocol for Information via Negotiation)[41] :

Pour les applications comme les détections d'intrus, disséminant les observations de capteur individuel à tous les capteurs dans un réseau devraient être exécutées comme une possible énergie efficace . A la lumière de ceci, une famille de protocoles adaptatifs nommés SPINs ont été conçus pour surmonter les problèmes d'inondation. Le protocole SPIN est au courant de sa ressource et des ressources adaptative. Ils peuvent prendre des décisions en toute connaissance de cause pour l'utilisation efficace de leurs propres ressources.

Les protocoles SPIN sont basés sur deux mécanismes clés : la négociation et l'adaptation de ressource. SPIN permet aux capteurs de négocier avec les autres en utilisant des méta données avant que n'importe quelles données ne soient transférées pour éviter des informations superflues dans le réseau. Chaque capteur est au courant de sa consommation de ressource a l'aide de son propre chef de ressource qui est exploré par l'application avant n'importe quel traitement de données ou transmission. Ceci aide les capteurs à contrôler et à s'adapter à n'importe quel changement de leurs propres ressources énergétiques. Il y a trois messages définis dans SPIN pour échanger des données entre noeuds, le message ADV pour permettre à un capteur d'annoncer des méta données particuliers, le message REQ pour demander les données spécifiques et DATA qui porte les données réelles.

### 2.4.3 Selon le mode d'établissement des chemins

Suivant la manière de création et de maintien des chemins pendant le routage nous distinguons trois catégories de protocoles de routages : protocoles proactifs, réactifs ou hybrides [42].

#### A. Protocole proactif

Ces protocoles de routage essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles au niveau de chaque noeud du réseau. Les routes sont sauvegardées mêmes si elles ne sont pas utilisées. Chaque noeud du réseau maintient une table de routage pour toutes les destinations indépendamment de l'utilité des routes. Les protocoles proactifs sont adaptés aux applications qui nécessitent un prélèvement périodique des données. Et par conséquent, les capteurs peuvent se mettre en veille pendant les périodes d'inactivité, et n'enclencher leur dispositif de capture qu'à des instants particuliers.

#### B. Protocoles réactifs

Ces protocoles (dits aussi, les protocoles de routage à la demande) créent et maintiennent des routes selon les besoins. Lorsque le réseau a besoin d'une route, une procédure de découverte de route est lancée. Ce type de protocoles est pratique pour des applications temps réel où les capteurs doivent réagir immédiatement à des changements soudains des valeurs captées. En effet, un prélèvement périodique des données aurait été inadapté pour ce type de scénarios.

#### C. Protocoles hybrides

Ces protocoles combinent les deux idées des protocoles proactifs et réactifs. Ils utilisent un protocole proactif pour apprendre le proche voisinage (par exemple le voisinage à deux ou à trois sauts), ainsi, ils disposent de routes immédiatement dans le voisinage. Au-delà de la zone du voisinage, le protocole hybride fait appel à un protocole réactif pour chercher des routes.

### 2.4.4 Selon l'initiateur de communication

#### A. Communication lancée par la source

Avec ce type de communication ce sont les noeuds capteurs qui collectent les données et les transmettent à la station de base, ces protocoles utilisent des modèles de données dirigés par les événements ou par le temps, c'est-à-dire que la donnée est envoyée à un intervalle régulier dans le temps ou bien quand les capteurs détectent un événement. Ainsi l'absence de requêtes générées par la station de base permet de consommer moins d'énergie et permet aussi d'éviter les problèmes des messages de contrôle. Ceci dit, les noeuds capteurs doivent aussi avoir des informations les conduisant à la station de base, dont la préoccupation principale est d'assurer l'efficacité énergétique et la qualité de service [43][44][45].

#### B. Communication lancée par la destination (station de base)

Communication lancée par la destination (station de base) : Ce protocole utilise un modèle de données basé sur les requêtes, dans ce cas, les noeuds répondent aux requêtes envoyées par la destination. Autrement dit, la station de base décrit aux noeuds capteurs le type de données qu'ils doivent capter et ainsi réduire les transmissions inutiles, mais en contrepartie, les requêtes de grandes tailles affaiblissant la batterie [46].

## 2.4.5 Tableau de comparaison des protocoles de routage dans les RCFSS

	Scalability	Mobility	Route Metric	Periodic Message Type	Robust
<b>Gossiping</b>	Good	Good	Random	None	Good
<b>Flooding</b>	Limited	Low	Shortest Path	None	Good
<b>LEACH</b>	Good	Fixed BS	Shortest Path	None	Good
<b>PEGASIS</b>	Good	Fixed BS	Greedy route selection	None	Good
<b>TEEN</b>	Good	Fixed BS	The best route	None	Limited
<b>APTEEN</b>	Good	Fixed BS	The best route	IMEP Control	Good
<b>VGA</b>	Good	No	Greedy route selection	None	Good
<b>BCDCP</b>	Limited	No	The best route	None	Limited
<b>HPAR</b>	Low	No	It initially selects the shortest path and then tries to optimize it based on the total energy consumption	None	Good
<b>ELCH</b>	Limited	Fixed BS	It selects the node with maximum remaining power	None	Good
<b>NHRPA</b>	Good	Fixed BS	The best route	None	Good
<b>DHAC</b>	Good	No	The best route	Hello messages	Limited
<b>DD</b>	Good	Limited	The best path	Query messages	Low
<b>SAR</b>	Limited	No	The path that minimizes the average weighted QoS metric throughout the lifetime of the network	Hello messages	Low
<b>HEED</b>	Moderate	Fixed BS	Shortest Path	None	GOOD
<b>GAF</b>	Good	Limited	Shortest Path	none	GOOD
<b>SPIN</b>	Limited	possible	The best route	ADV message, REQ message, data	Limited

TABLE 2.1 – synthèse des protocoles de routage [20][26][47].

## 2.4.6 Quelques améliorations du protocole hiérarchique LEACH

### I-LEACH

Naveen Kumar et Jasbir Kaur [49], ont proposés I-LEACH qui a surperformé le protocole LEACH en surmontant les deux lacunes existantes dans son homologue. Dans I-LEACH, la première de toutes les probabilités est basée sur le critère de sélection des CHs qui est remplacé par le concept de l'énergie résiduelle. L'autre limitation a été résolue par la formation de grappes sur la base des coordonnées de l'axe des x des noeuds; il a aidé à la distribution uniforme des CHs. Donc, les noeuds non-CH ne nécessiteront pas de transmettre leurs données sur de longues distances. Bien que I-LEACH a montré une amélioration substantielle par rapport à LEACH mais il n'a pas été autant efficace que par rapport à PEGASIS en termes de nombre de tours complétés pour une quantité donnée d'énergie [48].

### U-LEACH

U-LEACH combine les avantages caractéristiques des protocoles I-Leach et PEGASIS ainsi que l'introduction de la notion d'hétérogénéité dans le RCSF. Tout d'abord, il y a la formation des clusters, qui est basée sur les valeurs coordonnées x des noeuds de capteurs. Après l'achèvement du processus de regroupement, les CHs sont sélectionnés. Le processus de sélection des

CHs est basé sur l'énergie résiduelle des noeuds capteurs. Dans chaque cluster, un noeud avec une énergie résiduelle supérieure à d'autres noeuds de capteurs sera sélectionné comme CH. Plus tard, un MCH est sélectionné périodiquement à partir de ces CHs. Une fois que cette procédure de regroupement à repris le dessus, la formation de la chaîne a lieu dans chaque cluster. La formation de la chaîne a lieu à partir du noeud le plus éloignée d'un cluster et se termine finalement avec le CH. Arriver au CH, il y 'a un processus de diffusion, ce qui réduit les informations recueillies à partir de tous les noeuds du cluster en une petit mais significatif information [48].

La figure ci-dessous représente l'ensemble du processus de coordination basé sur le clustering et la formation de la chaîne. Les différentes couleurs montrent différents groupes (ici 5 clusters) et la ligne pointillée montre la formation de la chaîne entre les noeuds.

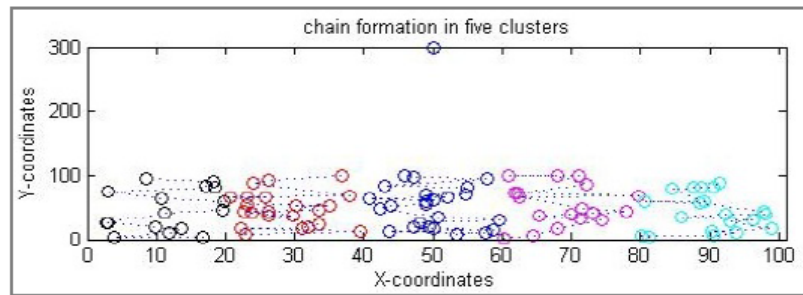


FIGURE 2.8 – Formation des clusters et chaine [48].

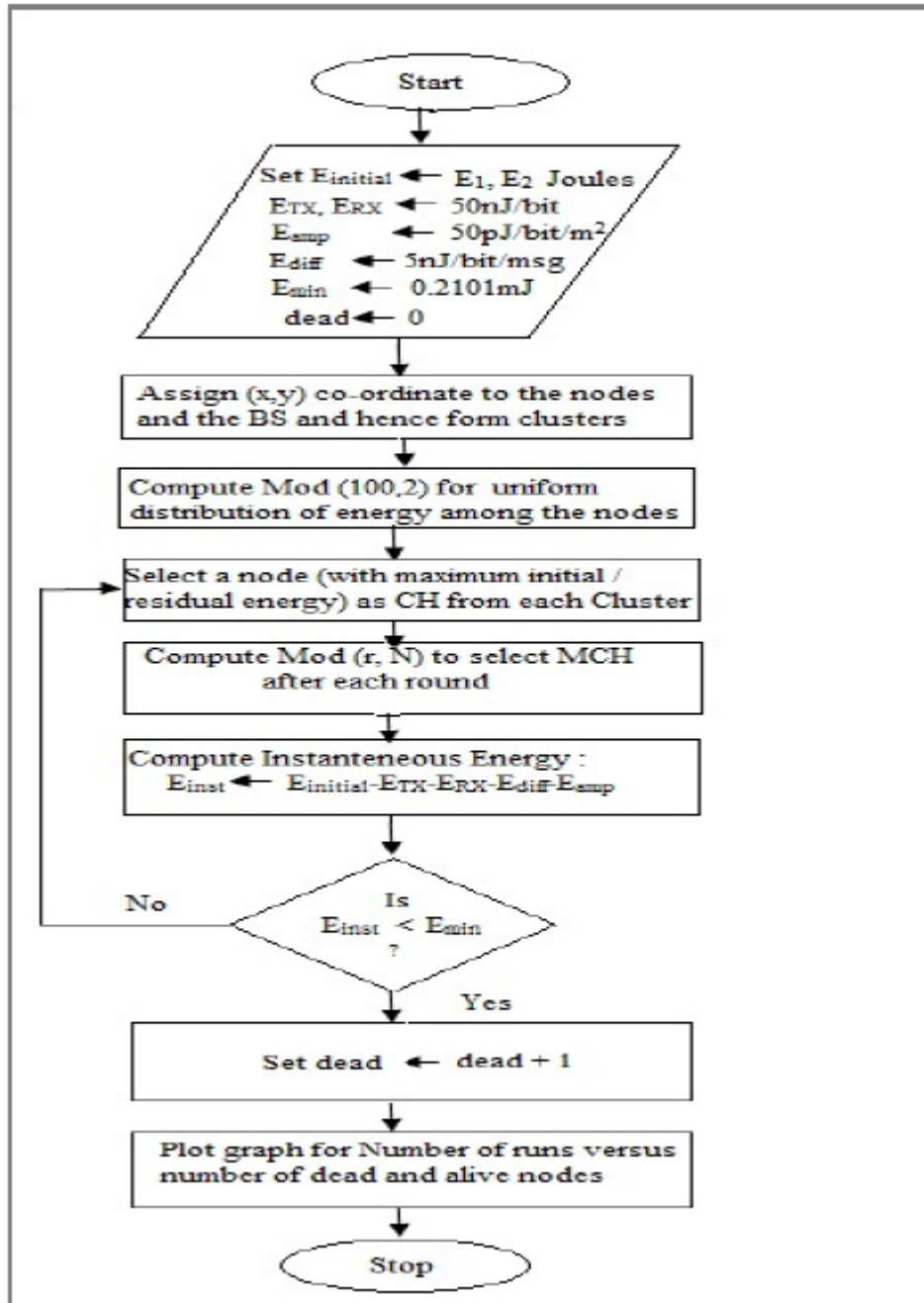


FIGURE 2.9 – organigramme de U-LEACH.

Les nœuds capteur sont munis de deux valeurs d'énergie, la moitié des nœuds obtiennent des valeurs plus élevées que le reste des nœuds de capteurs. La distribution de l'énergie se fait symétriquement c.à.d les nœuds impairs ont une valeur d'énergie tandis que les nœuds paires obtiennent une autre valeur d'énergie. L'organigramme de l'ensemble du procédé a été représenté sur la figure ci-dessus.

### LEACH-C

Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy centralized Dans ce protocole, la station de base est utilisée pour la formation des clusters. Elle rassemble des informations sur le niveau d'énergie et sur l'emplacement des différents nœuds du réseau, puis elle les utilise pour sélectionner le nombre de cluster Head et configure le réseau en clusters [37].

Les avantages d'utiliser cet algorithme :

- (1) La station de base utilise les informations recueillies auprès du réseau pour créer des clusters qui nécessitent moins d'énergie pour la transmission de données.
- (2) Dans Leach-C le nombre de cluster Head dans chaque cycle est égal à une valeur fixe.

### LEACH-V

Dans LEACH, le cluster head fait l'agrégation des données, la fusion de données et la retransmission des données, donc l'énergie de ce nœud s'épuise rapidement. Lorsque le CH meurt, le cluster devient inutile parce que les données recueillies par les nœuds du cluster n'atteindront jamais la station de base.

Pour surmonter cet inconvénient de LEACH, LEACH - V a été proposé [50].

Dans le protocole LEACH-V (Vice low energy adaptive clustering hierarchy) [51][52], le cluster contient :

- Un Cluster Head (responsable de l'envoi des données reçu des membres de la grappe à la BS).
- Vice-CH (le nœud qui deviendra un CH de la grappe en cas de CH qui meurt), les nœuds du cluster (collecte les données de l'environnement et l'envoi au CH).

Dans le protocole V-LEACH, en plus d'avoir un CH dans la grappe, il y a un vice-CH qui prend le rôle du CH lorsque le CH meurt. En faisant cela, les données sur les nœuds du cluster vont toujours atteindre la BS ; pas besoin d'élire un nouveau CH à chaque fois que le CH meurt. Ainsi la durée de vie globale du réseau sera prolongée.

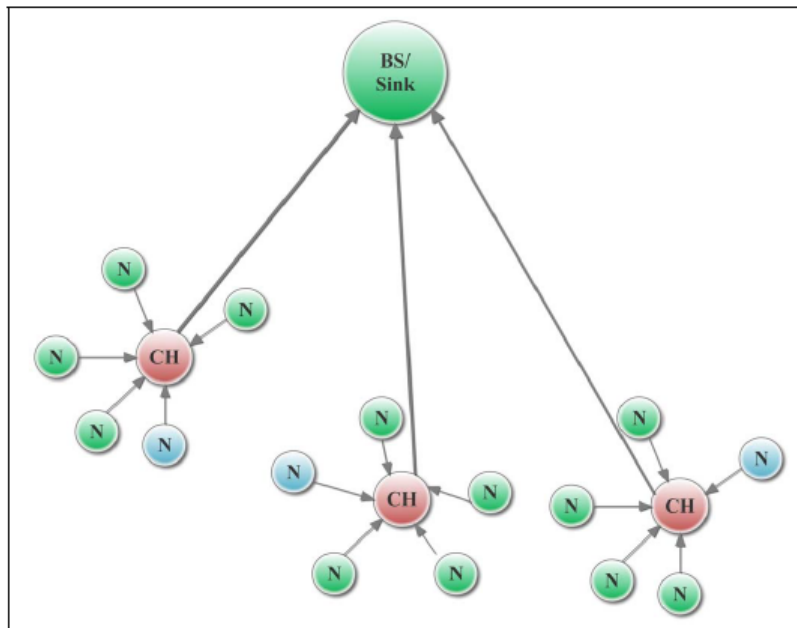


FIGURE 2.10 – Structure du protocole leach-v [50].

### Q-LEACH

Ce modèle a été proposé [53] afin d'améliorer certaines caractéristiques comme le processus de regroupement, la période de stabilité et la durée de vie du réseau pour optimiser les performances des RCSFs.

Selon cette approche les nœuds de capteurs sont déployés sur le territoire. Afin d'acquérir une

meilleure classification on partitionne le réseau en quatre quadrants. Faire en sorte de connaître un partitionnement de meilleure couverture de l'ensemble du réseau. En outre, la distribution exacte des nœuds dans le domaine est également bien définie.

La Figure 2.12 décrit l'approche optimale de la répartition de la charge entre les nœuds de capteurs. En outre, il présente également une idée du mécanisme de regroupement efficace qui donne de manière significative dans une meilleure couverture de l'ensemble du réseau.

La distribution du réseau en quadrants donne une utilisation efficace de l'énergie des nœuds de capteurs. Grâce à cette division des positions optimales de CHs sont définies. En outre, la charge de transmission des autres nœuds lors de l'envoi est également réduite.

En conventionnel un cluster dans LEACH est arbitraire en taille et certains des membres du cluster sont situés loin. A cause de ces nœuds lointains, les performances du réseau se dégradent.

---

**Algorithm 1** Setup Phase
 

---

```

1: begin
2: if node  $\in G \rightarrow G = \text{nodes which did not become CHs in current EPOCH}$  then
3:   if (NODE_BELONGS_TO == 'areaA')then
4:     if (NUMBEROFCHs  $\leq \frac{N}{K}$ )then
5:       TEMP=random number (0-1)
6:       if (temp  $\leq \frac{p}{1-p \times (r \bmod \frac{1}{p})}$ )then
7:         node=CH_A
8:         NUMBER_OF_CHs = NUMBER_OF_CHs+1
9:       end if
10:    else if (NODE_BELONGS_TO == 'areaB')then
11:      REPEAT STEP 4 : 8
12:    else if (NODE_BELONGS_TO == 'areaC')then
13:      REPEAT STEP 4 : 8
14:    else if (NODE_BELONGS_TO == 'areaD')then
15:      REPEAT STEP 4 : 8
16:    end if
17:  end if
18: end if
19: end.

```

---

L'algorithme.1 définit le mécanisme de sélection des CHs. Un réseau global est divisé en quatre domaines comme : les zones A, B, C et D. Au départ, chaque nœud décide ou non de devenir un CH. Le nœud choisit un nombre aléatoire entre 0 et 1. Si ce nombre est inférieur à un certain seuil T (n), et les conditions pour le nombre désiré de CHs dans une zone déterminée ne sont pas remplies, alors le nœud devient un CH. aussi, le même processus se poursuit pour le reste des secteurs et le nombre optimal de groupes sont formés. La sélection des grappes dépendra de la force du signal indicateur (RSSI) reçus de l'annonce. Après la décision de clusters, les nœuds doivent informer les CHs au sujet de leur association. Sur la base des informations recueillies à partir des nœuds associés, des tranches de temps garantis sont attribués aux nœuds en utilisant l'approche Time Division Multiple Access (TDMA). De plus, cette information est à nouveau diffusée aux nœuds capteur du cluster.

L'algorithme.2 définit l'association des nœuds avec leurs CHs appropriés. Les nœuds non-



**Algorithm 2** NodeAssociation in Q-LEACH

---

```

1:  $N \in$  Group of normal nodes
2:  $GC \in$  Group of CHs
3: if  $N \in (A, a1)$  then
4:   Where
5:    $A = a1, a2, a3, a4$ 
6:   Check all possible ACHs
7:   Check RSSI of CHs
8:   Associate with ACHs
9:   then
10:  transfer of data occurs
11: end if
12: if  $N \in (A, a2)$  then
13:   Repeat step from 5 : 8 for BCHs
14: end if
15: if  $N \in (A, a3)$  then
16:   Repeat step from 5 : 8 for CCHs
17: end if
18: if  $N \in (A, a4)$  then
19:   Repeat step from 5 : 8 for DCHs
20: end if

```

---

CHs se situent dans la zone spécifiée à laquelle ils appartiennent. Ensuite, ils vont chercher tous les CHs possibles, et en se basant sur le RSSI ils vont commencer l'association. Ce processus se poursuivra jusqu'à ce que la phase d'association prenne fin.

Une fois la phase set up du cluster est terminée et les noeuds sont affectés avec des slots TDMA chaque noeud communique dans son intervalle de temps alloué. Le reste du temps, la radio de chaque noeud non-cluster head restera éteint afin d'optimiser l'utilisation de l'énergie. Lorsque les données de tous les noeuds sont reçues aux CHs, celles-ci sont compressées puis envoyé à la BS. Le cycle se termine et une nouvelle sélection de CHs sera lancée pour le prochain tour.

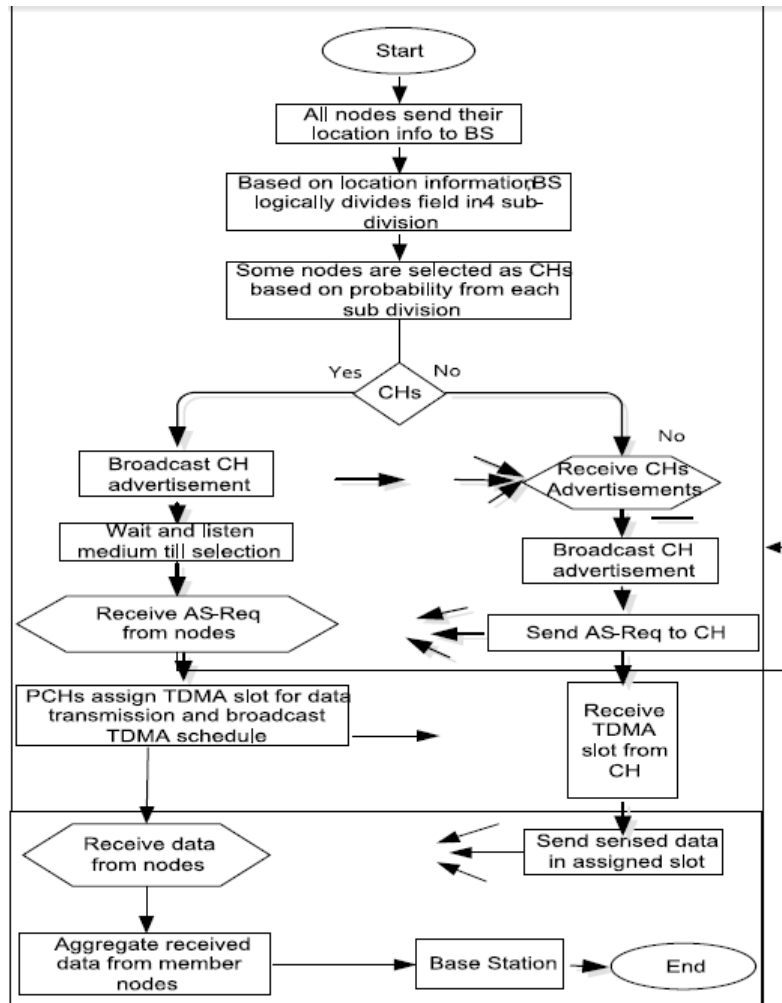


FIGURE 2.11 – Le principe de Q-LEACH [53].

### LEACH multi-hop

Dans le protocole classique LEACH, chaque nœud communique avec le CH et chaque CH communique avec la station de base et sans tenir compte du facteur de la distance et les sauts sont limités à deux sauts (du nœud au CH et du CH à la SB). Le LEACH Multi-Hop omet cet inconvénient de Leach et l'enrichit avec une nouvelle fonctionnalité de l'évolutivité [50].

Le protocole Multihop-LEACH (Multi-hop Low Energy Adaptive Clustering Hiérarchie) [54][55] choisit un chemin optimal pour le transfert de données entre le nœud et la station de base. Il choisit essentiellement plusieurs CHs pour agir comme nœud de relais pour toute la communication.

Tout d'abord, la communication multi-hop est adoptée entre les CHs. Ensuite, selon la trajectoire optimale choisie, ces CHs transmettent les données au CH correspondant qui est le plus proche de la station de base. Enfin, ce CH envoie les données à SB. La setup phase de ce protocole est la même que celle du protocole LEACH, mais avec une petite amélioration du multi-saut.

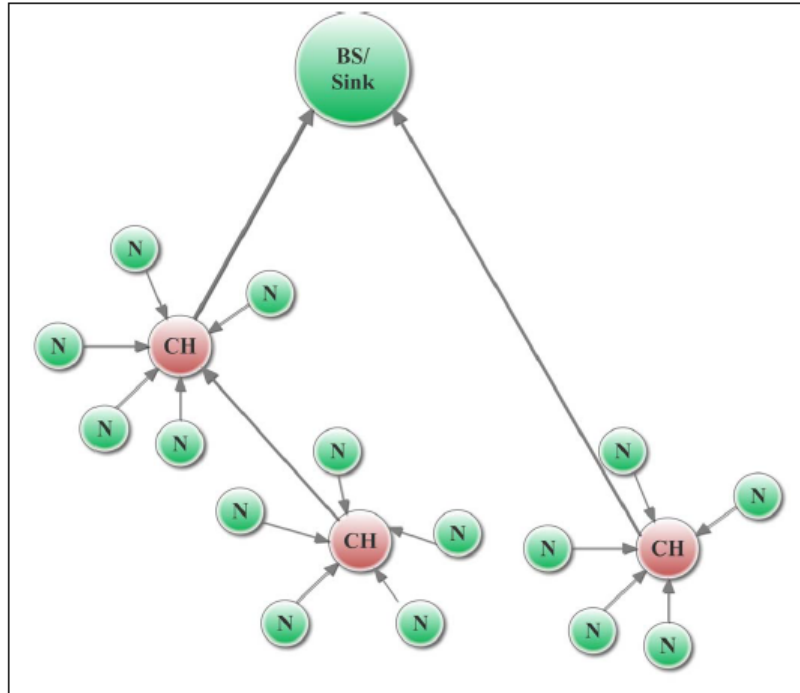


FIGURE 2.12 – La structure du protocole LEACH multi-saut[50].

## 2.5 Conclusion

L'étude et l'analyse des principaux protocoles et approches de routage pour les RCSFs nous ont permis de comprendre certains protocoles de routage, leurs fonctionnements et l'importance d'une gestion efficace de la consommation d'énergie qui permet de prolonger la durée du réseau. Dans le chapitre qui va suivre, nous allons proposer notre protocole, son architecture, ses différentes phases ainsi que son fonctionnement.

# Chapitre 3

## Contribution LEACH-IWE

### 3.1 Introduction

LEACH est un protocole hiérarchique et distribué basé sur le clustering adaptative, cette approche permet au nœud de minimiser la quantité d'énergie consommée lors de la transmission des données à la station de base, mais ce protocole n'est pas aussi efficace car la sélection des clusters head se fait d'une manière aléatoire ce qui engendre des CHs avec moins d'énergie que les autres nœuds, les CHs les plus éloignés de SB meurent rapidement par rapport à ceux qui sont proches de la SB. Pour remédier à ces lacunes nous proposons une combinaison du protocole LEACH et PEGASIS.

### 3.2 Concept de base de notre protocole

L'élection des clusters head avec le seuil qui est comparé au nombre aléatoire multiplié par l'énergie permet de prolonger la durée de vie du réseau, ainsi que de réduire le nombre de nœuds qui meurent dans chaque round. Chaque nœud transmet à son CH associé, cependant la transmission directe des CHs à la station de base épuise leur énergie alors l'organisation des CHs sous forme d'une chaîne selon le principe de PEGASIS va permettre d'améliorer et de réguler la dissipation d'énergie, et de réduire la charge sur les CHs (cluster-head).

En effet, chaque CH communique uniquement avec son voisin adjacent (CH) et non pas directement avec la SB, ce qui économise davantage d'énergie et offre une meilleure utilisation de la largeur de bande. Les données rassemblées par un CH sont transmises au CH voisin jusqu'à atteindre la station de base ce qui a pour effet de préserver les réserves d'énergie de ces derniers.

La figure ci-dessous montre comment les nœuds seront organisés à l'intérieur des Clusters, et comment les CHs sont formés en chaîne, le cluster head CH1 transmet ses données à son proche voisin CH2, CH2 quant à lui fusionne les données reçues avec les siennes et les transmet à son autre voisin jusqu'à atteindre le CH leader (ici c'est le CH4) qui fusionne les données ensuite avec les siennes et les transmet directement à la SB.

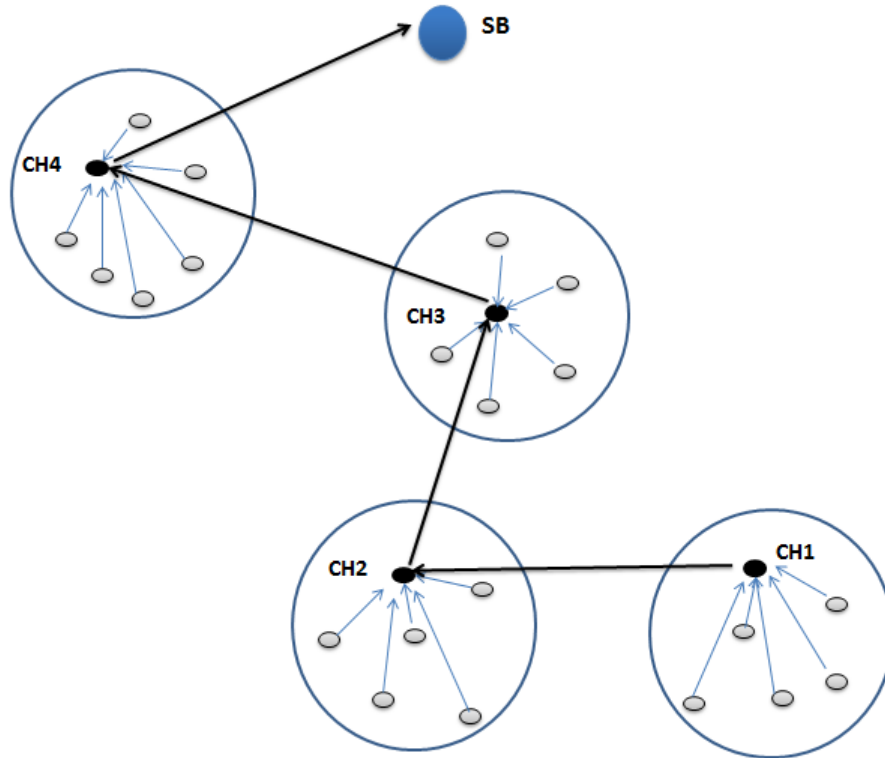


FIGURE 3.1 – Organisation des noeuds dans le réseau.

A l'inverse de LEACH, le nombre de CHs qui communique avec la SB est considérablement réduit. Ceci implique une meilleure économie d'énergie et prolonge d'avantage la durée de vie des CHs, car si ces derniers meurent (épuisent leur réserve d'énergie), tous les noeuds du cluster vont perdre leur pouvoir de communication avec la SB et par conséquent le cluster tout entier est considéré comme invalide (ne communique pas avec la BS).

### 3.3 Le étapes de notre protocole

Le déroulement de notre protocole est divisé en plusieurs cycles d'exécution. Chaque cycle commence par une phase d'initialisation dans laquelle les CHs sont élus et les clusters et les chaînes sont formés. Suivie d'une phase de transmission où les données collectées sont transmises à travers la chaine de CHs qui vont à leur tour transmettre à la station de base.

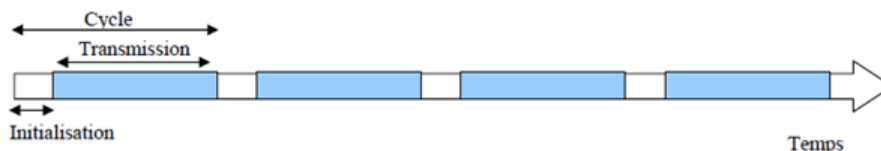


FIGURE 3.2 – les étapes d'exécution du protocole proposé.

La figure 3.3 représente l'organigramme de notre protocole proposé qui explique le déroulement de la phase d'initialisation qui englobe l'élection des Clusters Head ainsi que la formation des Clusters. d'où :

$T(n)$  représente le seuil envoyé par la station de base.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \times (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{si } (n \in G) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

$E_r$  est l'énergie résiduel et  $E_i$  l'énergie initial.

les flèches sortantes : l'envoi d'un message ADV.

les flèches entrantes : la réception d'un message.

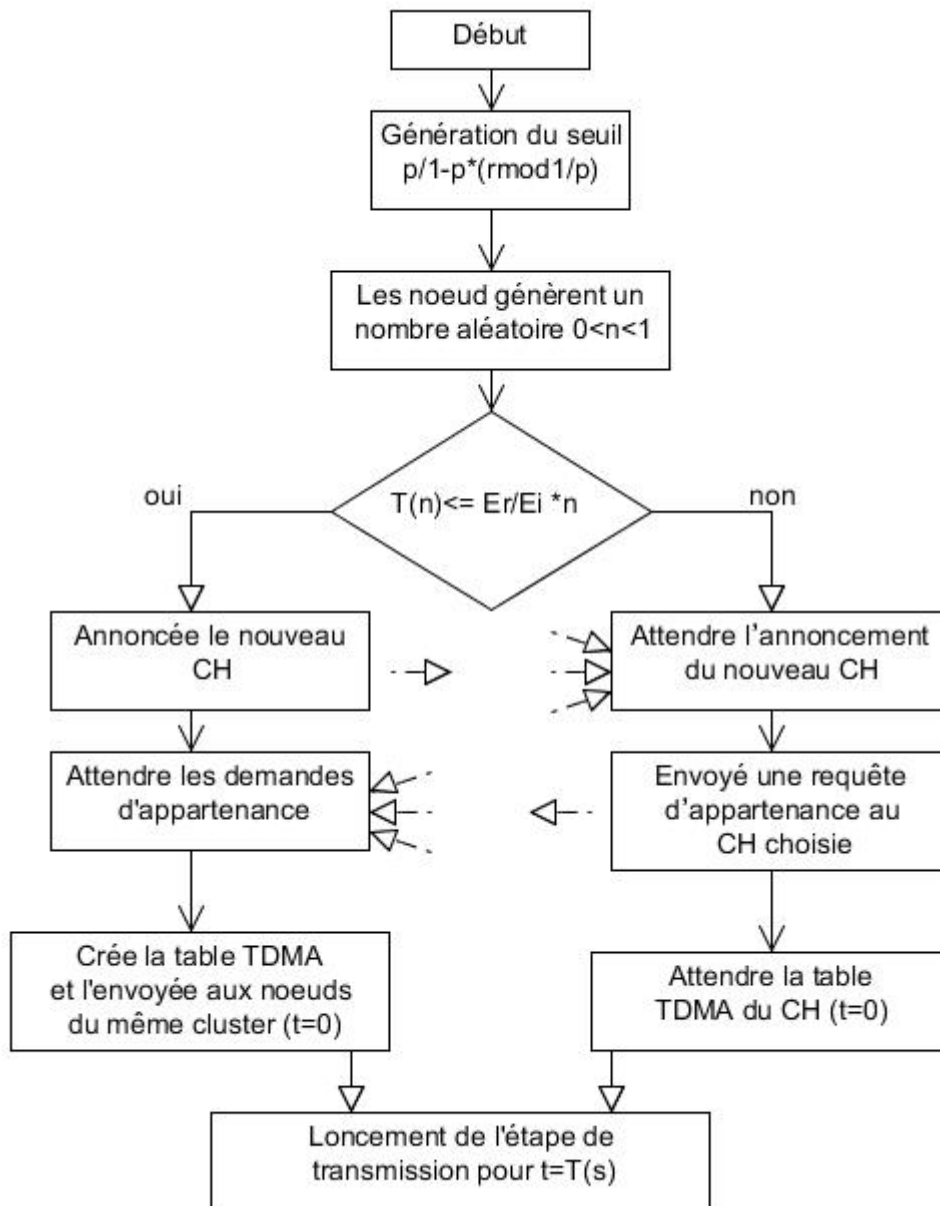


FIGURE 3.3 – Organigramme de notre protocole.

### 3.3.1 Étape d'initialisation

Afin de minimiser les problèmes d'interférence et d'overhead, la durée de la phase d'initialisation est fixée de façon à être beaucoup plus petite par rapport à la phase de transmission. Les noeuds doivent être tous synchronisés de façon à participer à la phase d'initialisation en même temps.

l'algorithme 3 représente la phase d'initialisation de notre protocole et ci-dessous les variables utilisés dans cet algorithme :

Er : énergie résiduel  
 Ei : énergie initial  
 T(n) : le seuil (formule(1))  
 n : nombre aléatoire  
 CH : cluster Head  
 Ci : nœud capteur  
 Nb : nombre de capteurs déployés  
 En : entête distinguable  
 ID : identifiant du CH  
 Join-REQ : requête d'appartenance

---

#### Algorithm 3 Phase d'initialisation

---

```

1: début
2: pour Ci allant de 1 jusqu'à Nb faire
3:   si((Er/Ei)*n) >= T(n) alors
4:     CH == Ci
5:     ADV = ID(CH)+ entête distinguable
6:     Attendre join-REQ
7:     Créer la table TDMA
8:     si join-REQ = reçu alors
9:       Transmission de TDMA
10:    fin si
11:  sinon
12:    Attendre l'annonce
13:    join-REQ = ID du noeud + ID du CH + entête
14:    Envoyer join-REQ
15:    Attendre la table TDMA
16:  fin si
17: fin pour
18: fin.

```

---

#### la sélection des clusters head

Nous avons adopté le concept de la rotation aléatoire du rôle de CH proposé dans LEACH en comparant le seuil donnée avec le nombre aléatoire choisi et en le multipliant avec un critère concernant l'énergie du nœud, qui régule la dissipation d'énergie et évite que les nœuds choisis comme CHs meurent plus rapidement. Le seuil est donné comme suit :

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \times (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{si } (n \in G) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$P$  = c'est le pourcentage de cluster head désirer ;

$r$  = le Cycle actuel ;

$G$  =l'ensemble des noeuds qui n'ont pas été cluster head en  $1 / P$  round ;

chaque nœud va choisir un nombre aléatoire  $n$  qui est compris entre 0 et 1, et il va comparer si :

$$T(n) \leq \frac{E_r}{E_i} * n \quad \text{alors le nœud devient un CH}$$

sinon il va attendre l'annonce ;

Sachant que  $E_i$  est l'énergie initiale du nœud et  $E_r$  est l'énergie résiduelle du nœud.

### la formation des clusters

Après l'élection du cluster head, ce dernier va s'annoncer aux autres nœuds et aux autres CHs du réseau pour ceci nous avons suivit les mêmes démarches que dans le protocole LEACH. Après que chaque nœud décide à quel groupe il appartiendra, il doit en informer le nœud cluster-Head qu'il sera membre du cluster. Chaque nœud transmet cette information au CH en utilisant un protocole CSMA MAC. Durant cette phase, tous les nœuds du cluster head doivent garder leurs récepteurs allumés.

### 3.3.2 Étape de transmission

Le nœud cluster-Head crée un ordonnancement TDMA pour dire à chaque nœud quand il peut transmettre. Cet ordonnancement est diffusé vers tous les nœuds du cluster.

Une fois que les groupes sont créés et l'ordonnancement de TDMA est fixé, la transmission de données peut commencer.

la figure 3.5 représente l'organigramme qui décrit le déroulement de l'étape de transmission de notre protocole LEACH-IWE.



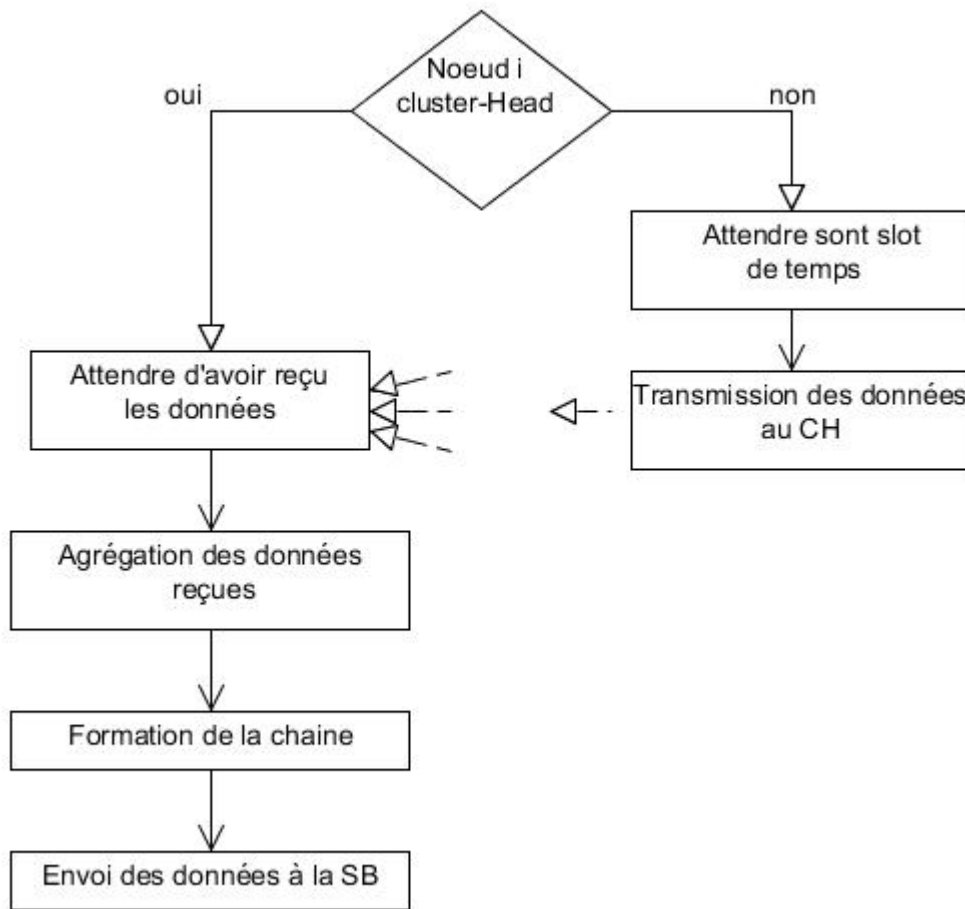


FIGURE 3.4 – Transmission des données.

En supposant toujours que chaque noeud dispose de données à envoyer, ils les envoient au cours de leur temps de transmission alloué au clusters head. L'étape de transmission est devisée en plusieurs itérations dans lesquelles les noeuds vont transmettre leurs données aux CHs. Sachant que le slot de temps alloué à chaque noeud est constant, le temps de chaque itération de transmission va dépendre évidemment du nombre de noeuds existants dans le cluster.

L'utilisation des TDMA schedule crée par le cluster head va permettre aux noeuds de pouvoir éteindre leurs antennes radio en attendant leur temps de transmission.

Après la réception de toutes les données par les CHs, la phase de formation de la chaîne peut commencer.

La figure 3.6 représente un algorithme qui décrit l'étape de transmission de données pour notre proposition et ci-dessous les variables utilisées dans cette algorithme.

CH : noeud cluster Head

Ci : noeud capteur

Chaîne : la chaîne à construire

Tête : la tête de la chaîne

NLBS () : procédure qui retourne le noeud le plus proche

CHs : ensemble de noeud CH du réseau

Chaîne =  $\emptyset$

Tête = NLBS(CH) (chercher le noeud qui a une distance plus grande par rapport à la station

de base)

---

**Algorithm 4** Phase de transmission
 

---

```

1: début
2: CHs = CHs – Tête
3: si Nœud  $\neq$  CH alors
4:   Attendre slot
5:   Transmission des données au CH
6: sinon
7:   Attendre la réception des données
8:   Agréger les données reçus
9:   tant que (CHs  $\neq$   $\Phi$ ) faire (trouver le nœud le plus proche de la tête de chaîne)
10:    Tête = NP (Tête)
11:    Ajouter (Chaîne, Tête)
12:   fin tant que
13: fin si
14: fin.

```

---

### La création des chaînes

Pour le déroulement de cette étape nous avons adopté la même idée utilisée dans le protocole PEGASIS qui sera réalisé à l'extérieur du cluster où les clusters head du réseau forment une chaîne de proches voisins.

Chaque cluster head reçoit des données de l'un de ses voisins, fusionne (agrège) les données de ces derniers avec ses propres données et les envoie à son tour à son autre voisin dans la chaîne. L'opération d'agrégation est exécutée au niveau de chaque CH afin d'éliminer les informations redondantes et de réduire la quantité de données échangées pour préserver l'énergie.

Pour la construction de la chaîne on commence avec le CH le plus éloigné du réseau, ce dernier représente la tête de la chaîne.

Ensuite, le CH le plus proche de la tête de la chaîne est choisi pour être ajouté et devenir ainsi la nouvelle tête de la chaîne. Les voisins successifs sont sélectionnés de cette manière parmi les CHs non visités. L'opération se répète jusqu'à ce que tous les CHs soient dans la chaîne. En effet, ce protocole commence par le CH le plus lointain pour s'assurer que les CHs les plus loin du réseau ont des voisins proches. Les distances voisines augmenteront graduellement puisque des CHs déjà présents sur la chaîne ne peuvent pas être revisités.

Quand un CH meurt, la chaîne est reconstruite de la même manière pour éviter le CH mort.

La figure ci-dessous (figure 3.7) représente l'organigramme de création des chaînes pour les Clusters head en utilisant le principe de pagasis.

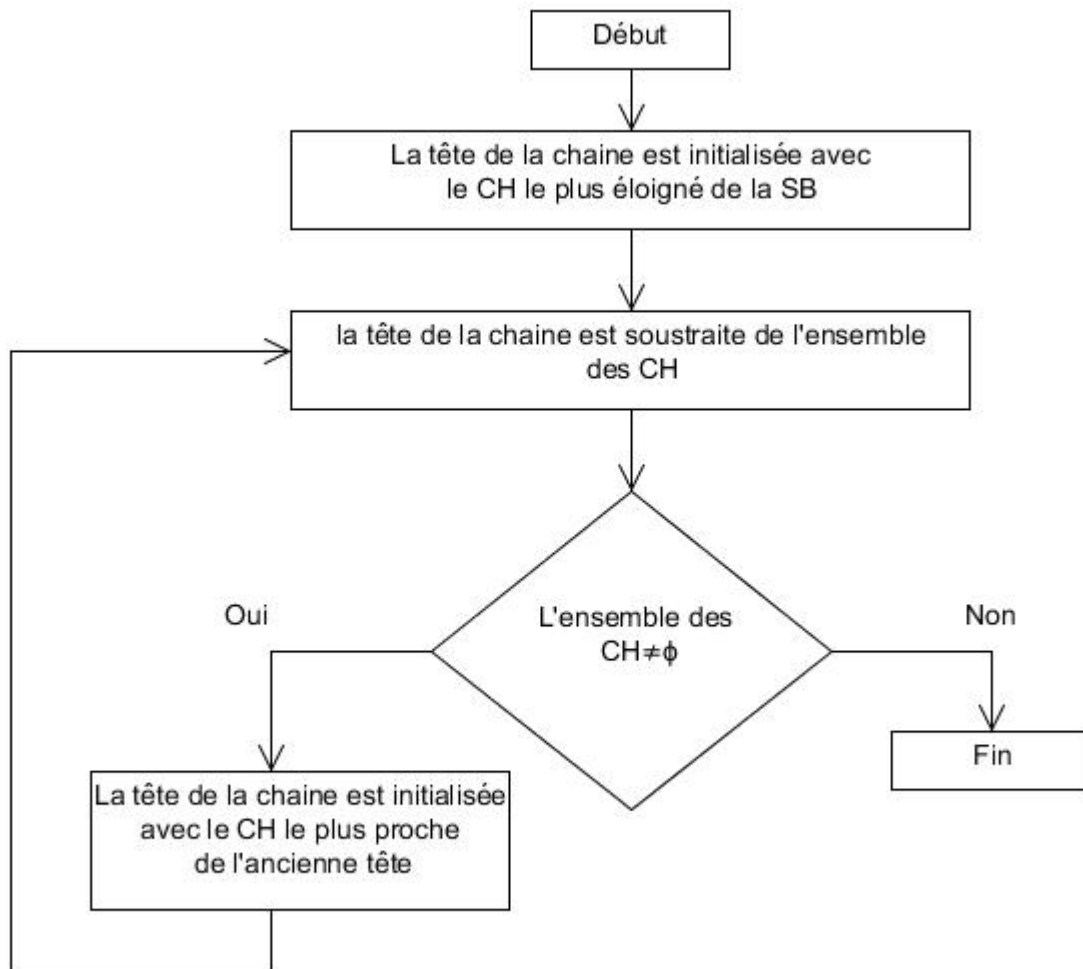


FIGURE 3.5 – Organigramme de création des chaînes

Pour la transmission des données chaque CH envoie ces données au CH voisin qui les fusionne avec ses propres données puis les envoie à son voisin et ainsi de suite jusqu'à atteindre le dernier CH qui agrège les données à son tour puis les transmet à la station de base.

Le choix du protocole de transmission au niveau de la couche MAC est essentiel d'autant plus que la transmission sans fil est affectée par les problèmes de parasites et d'interférences. La communication dans un cluster peut encore être affectée par les clusters voisins.

Par conséquent, nous avons opté pour le même protocole de transmission utilisé dans LEACH à savoir DS-SS (direct-sequence spread spectrum) [37] où l'on attribue à chaque cluster un code unique. Tous les nœuds appartenant au même cluster vont utiliser ce code pour transmettre au CH et ce dernier va utiliser le code attribué au cluster pour filtrer les données reçues. De cette manière, on évitera que le CH d'un cluster va réceptionner les données transmises à partir des nœuds des clusters voisins.

## 3.4 Conclusions

Nous avons proposé un protocole qui combine les principaux avantages de deux protocoles le premier est distribué et basé sur le clustering(LEACH), le deuxième est basé sur les chaînes(PEGASIS) dans le but de réduire la consommation d'énergie des noeuds et ainsi prolonger la durée de vie du réseau. Dans le chapitre qui suit nous allons faire une implémentation de notre protocole qui représente un point très important dans l'analyse des performances afin de montrer les résultats de cette amélioration.

# Chapitre 4

## Simulation et analyse des performances

### 4.1 Introduction

Nous allons présenter dans ce chapitre les résultats des simulations de notre protocole discuté dans le chapitre précédent. La simulation constitue la plus importante étape de notre travail puisque on peut prouver les améliorations effectuées en terme d'économie d'énergie, de prolongement de temps de vie global du réseau et de consolider nos affirmation à l'aide des résultats fournis.

L'analyse des performances de notre protocole de routage est évaluée à l'aide de matlab.

### 4.2 La simulation

Selon Shannon [56], la simulation est "le 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" . Cela veut dire qu'une simulation est une représentation fidèle d'un système réel avec des hypothèses initiales qui permettent de réduire la complexité de la modélisation et qui la rend faisable techniquement. La simulation est souvent utilisée lorsqu'aucune modélisation mathématique n'est possible vu la complexité et la grandeur du système étudier.

### 4.3 Le choix de MATLAB

MATLAB est un logiciel de calcul numérique produit par MathWorks. il est disponible sur plusieurs plateforme.

MATLAB est un langage simple et très efficace, optimiser pour le traitement des matrices, d'où son nom. pour le calcul numérique, MATLAB est beaucoup plus concis que les vieux langage (C,Pascal,Fortran)et pour la programmation, il optimise le code des programmes en utilisant des fonctions prédéfinies. nous pouvons traiter la matrice comme une simple variable.

MATLAB contient une interface graphique puissante et on peut l'enrichir en ajoutant des boites a outils (toolbox) qui sont des ensembles de fonction supplémentaire, profilées pour des applications particulières(traitement de signaux, analyse statistique, optimisation..etc).

MATLAB contient également un langage de programmation de haut niveau dans lequel nous retrouvons la majorité des concepts des langages de programmation moderne(type Pascal et C). L'ordre d'exécution des instructions est déterminé par des structure de contrôle. Il permet aussi

la création des fonctions et distingue les données locales des données globales. Ces avantages en rendu MATLAB, un langage de programmation et de simulation très sollicité [57].

## 4.4 Modèle de consommation d'énergie

W .Heinzelman et Al. [19] proposent un modèle radio de consommation d'énergie. Ainsi, les énergies nécessaires pour émettre  $E_{Tx}(s; d)$  et recevoir  $E_{Rx}(s)$  des messages sont données par :

- Pour émettre un message de  $s$  bits vers un récepteur loin de  $d$  mètres, l'émetteur consomme :

$$E_{Tx}(s; d) = E_{Txelec}(s) + E_{Txamp}(s, d)$$

$$E_{Tx}(s; d) = (E_{elec} * s) + (E_{amp} * s * d^2)$$

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

$$E_{Rx}(s) = E_{Rxelec}(s)$$

$$E_{Rx}(s) = E_{elec} * s$$

$E_{elec}$  et  $E_{amp}$  représentent respectivement l'énergie de transmission électronique et l'énergie d'amplification.

La figure suivante illustre ce modèle de consommation d'énergie.

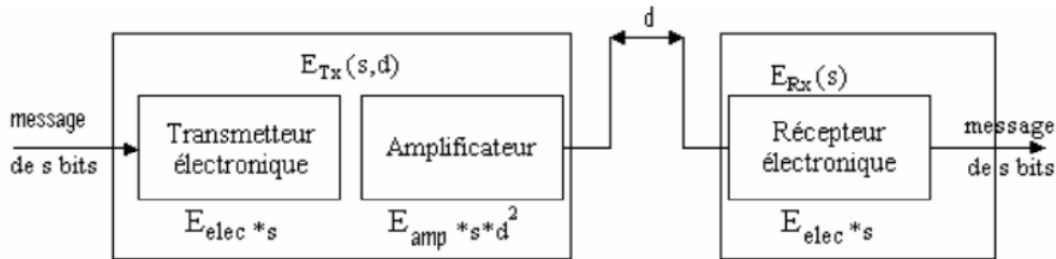


FIGURE 4.1 – modèle de consommation d'énergie [19].

## 4.5 Paramètre de simulation

Dans notre proposition nous allons utiliser le même modèle radio composée par W .Hinzelman et Al.[19]

Les noeuds capteurs utilisés dans la simulation sont considérés comme homogènes possédant la même quantité d'énergie initiale, les même capacité de calcul et mémoire, les même porté de transmission et équipées par les mêmes interfaces de communication IEEE 802.11. De plus, l'énergie de la station de base est considéré comme illimitée.

<b>Description</b>	<b>Valeur</b>
La surface du réseau	100 x 100 m <sup>2</sup>
Localisation de la station de base	(50 , 175)
Nombre de nœud	100
Energie initial	0.5J
L'énergie consommée par l'amplificateur pour une petite distance	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
L'énergie consommée par l'amplificateur pour une grande distance	0.0013pJ/bit/m <sup>4</sup>
Energie de transmission et de réception par bit	50pJ/bit
Energie d'agrégation	5pJ/bit
Taille des paquets de contrôle	200 bits
Taille des paquets de donnée	6400 bits
Probabilité souhaité des CH (p)	0.05

TABLE 4.1 – Les paramètres de simulation.

## 4.6 Résultats de simulation

les résultats des simulations ci-dessous ne représente que la première partie de notre contribution qui est l'élection des clusters head en utilisant un seuil qui est comparé au nombre aléatoire multiplier par l'énergie résiduel divisé par l'énergie initial de chaque nœud capteur. La station de base est fixée au départ en une position (50,175) et les noeuds capteurs sont déployés aléatoirement sur une surface de  $(100 \times 100)m^2$  comme les montre la figure suivante :

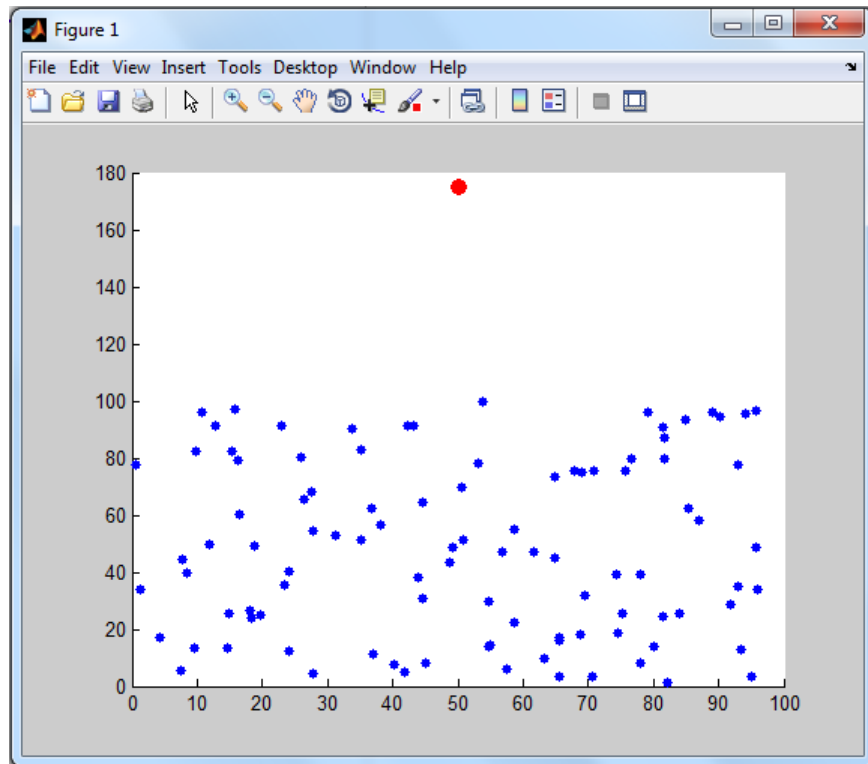


FIGURE 4.2 – déploiement des nœuds.

#### 4.6.1 Nombre de nœud mort par round

Le tableau ci-dessous représente le nombre de nœud mort par round en fonction du nombre de nœuds dans le réseau, nous pouvons remarquer pour 100 nœud que dans le protocole LEACH les nœuds commencent à mourir au bout de 176 rounds contrairement à LEACH-IWE où les nœuds capteur meurt après 481 rounds cela est dû à l'élection des nœuds ayant une grande énergie résiduel comme cluster Head par rapport aux autres nœuds du réseau.

le tableau et la figure donnent les résultats moyen du premier nœud mort par rounds après 10 exécutions en fonction du nombre de nœud (de 100 jusqu'à 1000 nœuds)

Nombre de nœud	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
LEACH	176	158	155	152	145	143	141	138	134	132
LEACH-IWE	481	456	538	461	467	436	436	434	428	375

TABLE 4.2 – tableau comparatif du premier nœud mort.



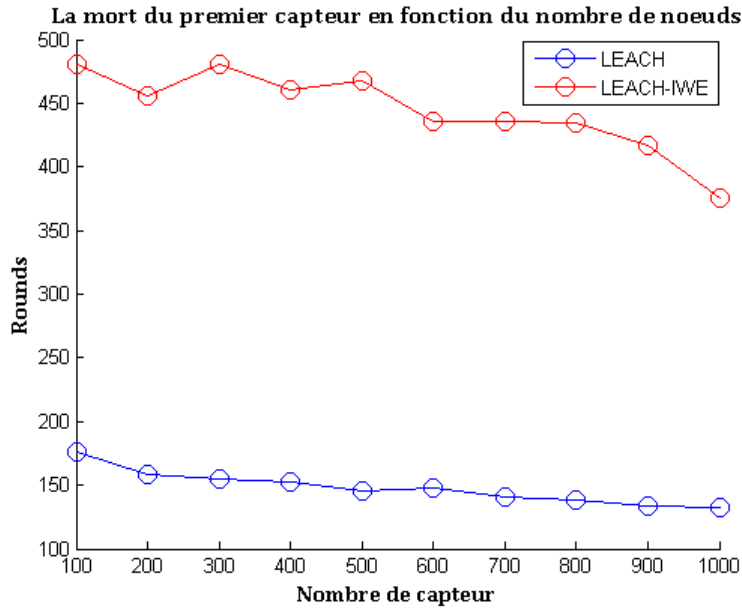


FIGURE 4.3 – la mort du premier noeud.

Le tableau et la figure ci-dessous montrent le résultat de comparaison entre LEACH et LEACH-IWE quand 50% des noeuds meurent après 10 exécutions :

Nombre de noeud	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
LEACH	496	280	239	222	207	200	192	185	184	178
LEACH-IWE	936	748	695	669	644	624	621	599	581	579

TABLE 4.3 – tableau comparatif pour la mort de 50% des noeud.

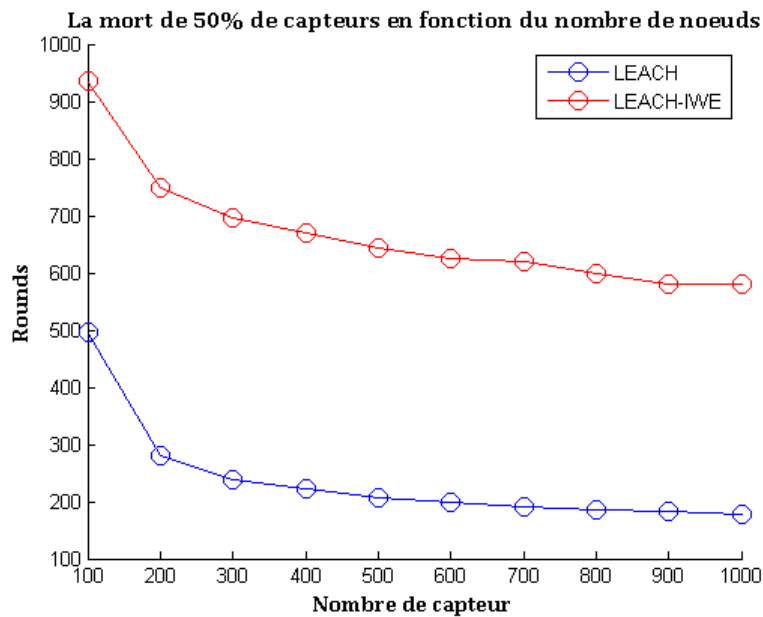


FIGURE 4.4 – la mort de 50% des noeuds.

### La défaillance du derniers capteurs

La figure 4.5 montre une comparaison entre les deux protocole LEACH et LEACH-IWE quand 100% des noeuds du réseau meurt (la défaillance du derniers capteurs dans chacun des deux protocoles) nous remarquons que dans le protocole LEACH les noeuds meurent complètement après 3400 rounds contrairement ou protocole LEACH-IWE ou ils meurt après 8000 rounds

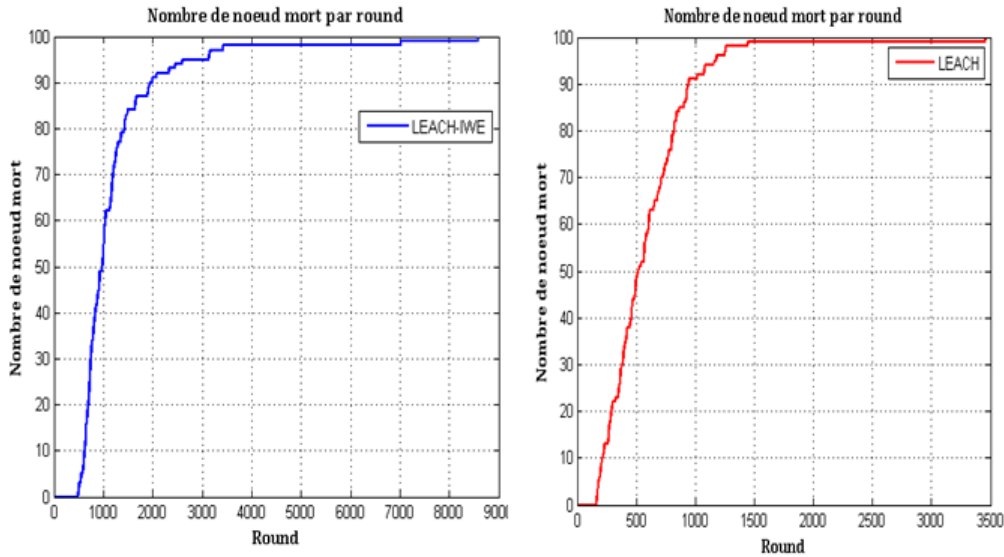


FIGURE 4.5 – la mortalité des deux protocoles.

### 4.6.2 La somme d'énergie par round

le tableau et la figure ci dessous montrent la somme d'énergie restante des nœuds par round. D'après ce tableau comparatif nous constatant que la somme d'énergie restantes du protocole LEACH-IWE est meilleure que le protocole LEACH, après 2000 rounds l'énergie des nœuds dans LEACH a été complètement épuisées contrairement ou protocole LEACH-IWE ou l'énergie n'a pas été complètement épuisé dans ce rounds.

Round	0	500	1000	1500	2000
LEACH	50	8	2.5	2	0
LEACH-IWE	50	14	3	2	1

TABLE 4.4 – tableau comparatif de la somme d'énergie des nœuds par round.

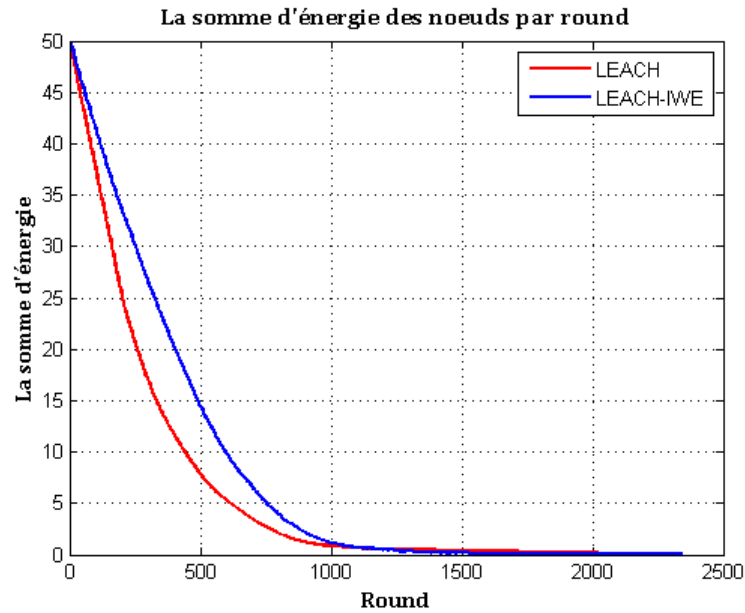


FIGURE 4.6 – la somme d'énergie des noeuds par round.

## 4.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une nouvelle approche de routage à base consommation énergétique. Cette approche est basée sur le protocole hiérarchique LEACH avec une amélioration sur la sélection des CHs.

Basés sur les résultats de la simulation, nous avons démontré que notre protocole améliore la dissipation d'énergie, augmente le gain d'énergie, et prolonge la durée de vie du réseau comparé au protocole LEACH.

# Conclusion générale

L'utilisation des batteries par les capteurs est une contrainte critique dans les réseaux de capteurs. La deuxième contrainte est environnementale : les capteurs sont parfois déployés sans surveillance et en grand nombre, de sorte qu'il est difficile de changer ou de recharger leurs batteries. Pour cela, les algorithmes et les protocoles de communication pour les réseaux de capteurs doivent minimiser la consommation d'énergie. Mais le taux de consommation d'énergie des capteurs reste très variable selon les protocoles utilisés.

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés au problème de l'énergie et du routage dans les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons proposé des améliorations permettant d'offrir une meilleure prise en compte des ressources énergétiques du réseau.

Nous avons essayé de faire le tour de ce nouveau phénomène qui touche les réseaux sans fil. Nous avons commencé par présenter les généralités qui entourent le domaine des RCSFs, puis nous avons focalisé notre étude sur la fonctionnalité clé de ces réseaux qui est le routage de données à partir des nœuds source vers une station de base, qui s'occupe des traitements spécifiques aux applications supportées. Nous avons montré la particularité de ce type de routage imposée par les caractéristiques physiques des réseaux de capteurs sans fil.

Ensuite, nous avons présenté les différentes solutions de routage existantes selon une classification par rapport à la topologie du réseau utilisée. Nous avons focalisé, par la suite, notre étude sur la classe des protocoles de routage hiérarchiques qui garantit une optimisation de la consommation en énergie.

L'organisation du réseau de capteurs en groupes, dits clusters, permet une distribution de la consommation de l'énergie sur le réseau et une spécification des tâches selon le type de nœud (les clusters head (CHs)) se charge de la dissémination et de l'agrégation des données vers la station de base, alors que les autres nœuds se chargent de la collection de données et la dissémination locale vers les CHs). Afin de valider les améliorations apportées par notre protocole LEACH-IWE 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 Matlab version 7.9.0 et comparé les résultats fournis avec ceux du protocole LEACH.

Les résultats fournis par la simulation prouvent que notre protocole offre une meilleure gestion d'énergie par rapport au protocole LEACH.

Beaucoup de travaux ont été amenés par les chercheurs dans ce domaine, ce qui explique, l'existence de plusieurs améliorations du protocole de routage LEACH qui est destinés à bien gérer la communication, en minimisant : l'énergie consommée par les capteurs ainsi que le temps de propagation des données et avoir une bonne qualité de service.

Enfin, en guise de perspective nous envisageons d'améliorer notre protocole et la comparer avec d'autres protocoles qui prennent en charge la contrainte d'énergie.

Il sera aussi, préférable d'implémenter notre solution dans les simulateurs dédiés aux réseaux

de capteurs sans fil, pour pouvoir par la suite évaluer ses performances et la comparer avec d'autres protocoles qui prennent en considération la contrainte d'énergie. Nous envisageons aussi d'améliorer les performances de notre protocole de routage que ce soit au niveau de l'algorithme d'élection des clusters Head en prenant en considération leur distance par rapport à la stations de base , ou au niveau de la transmission des données.

# Bibliographie

- [1] J.F. Pillou ,F. Lemainque : *Tout sur les Réseaux et Internet*. 3e édition Dunod, Paris, 2012 ISBN 978-2-10-058266-2.
- [2] M. Germain : *Introduction Aux Réseaux* . Un livre blanc de Forum ATENA 2012.
- [3] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic and J. Urrutia : *Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks*. In Proceedings of 3rd ACM International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications DIAL M99, pages 48–55, August 20,1999.
- [4] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci : *A Survey on Sensor Networks*. IEEE Communications Magazine, August 2002.
- [5] K.B. Kredo, B.P. Mohapatra : *Medium access control in wireless sensor networks*. Computer network 51(4), pp 961-994 , 2007.
- [6] J.L. Hill : *System Architecture for Wireless Sensor Networks*. University of California, Berkeley, 2003.
- [7] V. Handziski, A. Kopke, H. Karl, and A. Wolisz : *A common wireless sensor network architecture*. Technische Universität Berlin, July 2003, pp.10-17.
- [8] A. Delye, V. Gauthier, M. Marot and M. Becker : *Etat de l'art sur les réseaux de capteurs*. rapport de Recherche INT N-05001RST GET-INT, UMR5157 SAMOVAR, Institut National des Télécommunications, Evry, France, 2005.
- [9] F. Koushanfar, M. Potkonjak, and A. Sangiovanni-Vincentelli : *Fault Tolerance in Wireless Ad hoc Sensor Networks*. Proceedings of IEEE Sensors 2002, June 2002.
- [10] L. Paradis and Q. Han : *A Survey of Fault Management in Wireless Sensor Networks*. Plenum Press New York, NY, USA, 2007.
- [11] F. Nekoogar, F. Dowla, and A. Spiridon : *Self organization of wireless sensor networks using ultra-wideband radios*. Atlanta, GA, United States, September 2004.
- [12] C.Y. Chong and S.P. Kumar : *Sensor networks : Evolution, opportunities, and challenges*. Proceedings of the IEEE, vol. 91, n.8, 2003, pp. 1247-1256.
- [13] T. Zhao, W.D. Cai and Y.J. Li : *A Sensor Network Topology Inference Algorithm, omputational Intelligence and Security*. International Conference on January 2008.
- [14] V. Handziski, J. Polastre, J.H. Hauer, C. Sharp, A. Wolisz and D. Cullery : *Flexible Hardware Abstraction for Wireless Sensor Networks*. In Proceedings of the Second European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN '05),February 2005.
- [15] J.C. Haartsen : *The Bluetooth radio system*. IEEE Personal Communications Magazine, February 2000, pp. 28-36.
- [16] I. Teixeira, J.F. de Rezende, A. de Castro and A.C.P. Pedroza : *Wireless Sensor Network : Improving the Network Energy Consumption*. in XXI Symposium Brazilian Telecommunications, SBT'04, Belem, Brazil, September 2004.

- 
- [17] E. Souto, R. Gomes, D. Sadok and J. Kelner : *Sampling Energy Consumption in Wireless Sensor Networks*. IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing -Vol 1 (SUTC'06), June 2006.
- [18] Y. Challal : *Réseaux de capteurs sans fil*. Cours, Systèmes Intelligents pour le Transport, Université de Technologie de Compiègne, France, 17 Novembre 2008.
- [19] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan : *Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks*. International Conference on Systems Science, vol.8, pp. 8020, January 2000.
- [20] G.H. Raghunandan, B.N. Lakshmi : *A Comparative Analysis of Routing Techniques for Wireless Sensor Networks*. Kongu Engineering College, India.17 and 18 February, 2011.pp.17-22.978-1-61284-810-5/11/26.00.
- [21] J.N Al-Karaki and A.E. Kamal : *Routing Techniques in Wireless Sensor Networks : A Survey*". Magazine : IEEE Communicationsvol. 11, no. 6, pp. 6-28, December 2004.
- [22] K. Akkaya, and M. Younis : *A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks*. Journal of Ad Hoc Networks, Vol. 3, No. 3, May 2005, pp. 325-349.
- [23] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin : *Directed diffusion : A scalable and robust communication paradigm for sensor networks*. In the Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00), Boston, MA, August 2000.
- [24] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann and S. Kumar : *Next century challenges : Scalable Coordination in Sensor Networks*. In the Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA, August 1999.
- [25] S. Hedetniemi and A. Liestman : *A survey of gossiping and broadcasting in communication networks*. 1988.
- [26] M. goudaPatil and R.C. Biradar : *A Survey on Routing Protocols in Wireless Sensor Networks*. Department of Computer Science and Engineering Wireless Information Systems Research Laboratory Reva Institute of Technology and Management Bangalore-560 064, India 2012.
- [27] R. Rajagopalan and P.Varshney : *Data-aggregation techniques in sensor networks : A survey*. IEEE Communications and Surveys and Tutorials, 8(4)(2006) 48-63.
- [28] A.A. Abbasi and M.Younis : *A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks*. Computer Communications, 30(14-15) (2007)2826-2841.
- [29] X. Bao, S. Zhang, D. Xue and Z. Qie : *An energy-balanced chain cluster routing protocol for wireless sensor networks*. in Proc. 2nd Int. Conf. Netw. Security Wireless Commun .Trusted Comput , Apr. 2010, pp. 79–84.
- [30] J.H. Shin, J. Kim, K. Park and D. Park : *Virtual infrastructure for data dissemination in wireless sensor networks*. in Proc. 2nd ACM Int. Workshop Perform. Eval. Wireless Ad Hoc, Sensor, Ubiquitous Netw., 2005, pp. 168–174.
- [31] S. Muruganathan, D. Ma, R. Bhasin and A. Fapojuwo : *A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks*, "IEEECommun. Mag., 2005,Vol. 43, Issue 3, pp. 8-13.
- [32] J.N Al-Karaki, R. Mustafa, A. Kamal : *Data Aggregation in Wireless Sensor Networks Exact and Approximate Algorithms*. In Proc. IEEE Workshop 2004.
-

- 
- [33] Q.Li, J. Aslam and D. Rus : *Hierarchical Power-aware Routing in Sensor Networks*. In Proc. DIMACS Workshop on Pervasive Networking, California, 2001, pp. 25-27.
- [34] C.H. Lung and C. Zhou : *Using Hierarchical Agglomerative Clustering in Wireless Sensor Networks : An Energy-efficient and Flexible Approach Ad Hoc Networks*. 2010, Vol. 8, Issue 3, pp. 328-344.
- [35] J. Lotf, M. Bonab and S. Khorsandi : *A Novel Cluster based Routing Protocol with Extending Lifetime for Wireless Sensor Networks*. In Proc. 5th IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN08), EastJava Indonesia, Surabaya, 2008, pp. 1-5A.
- [36] S. Lindsey and C.S. Raghavendra : *PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems*. 2001 Computer Systems Research Department The Aerospace Corporation P.O. Box 92957 Los Angeles, CA 90009-2957.
- [37] W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan and H. Balakrishnan : *An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks*. IEEE Transactions on wireless communication, VOL. 1, NO. 4, OCTOBER 2002.
- [38] J. Zhu , S. Papavassiliou and J. Yang : *Adaptive localized QoS constrained data aggregation and processing in distributed sensor networks*. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 17(9) (2006) 923-933.
- [39] C.K. Toh : *Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad-hoc networks*. IEEE Communications Magazine, vol. 39, No. 6, pp. 138-147, Juin 2001.
- [40] D.Ganesan, R. Govindan, S. Shenker and D. Estrin : *Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks*, *Mobile Computing and Communications Review*. 5(4) (2001) 10-24.
- [41] J. Kulik, W. Heinzelman and H. Balakrishnan : *Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks*. Wireless Networks, 8(2/3) (2002) 169-185.
- [42] R. Jurdak : *Wireless Ad hoc and sensor Networks : A Cross-Layer Design Perspective*. University college Dublin 2007.
- [43] J.H. CHANG and L.TASSIULAS : *Energy conserving routing in wireless ad-hoc networks*. In proceedings IEEE, INFOCOM 2000. 9th Annual joint conference of the IEEE computer and communications societies, volume 1, 2000.
- [44] R. SHAH and J.M. RABAEY : *Energy aware routing for low energy ad-hoc sensor networks*. In wireless communication and networking conference (WCNC), volume 1, 2002.
- [45] M.ACHIR and L.OUVRY : *A routing protocol for wireless ad-hoc sensor networks : multipath source routing protocol (mpsr)*. In ICN'05 : 4th International conference on networking (IEEE), Ile de la reunion, france , avril 2005.
- [46] T.F. ABDELZAHER, W.H. KWON and H.S. KIM : *Minimum energy asynchronous dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks*. In proceedings of the first international conference on embedded networked sensor systems (SynSys 2003), volume 7, pages 193-2074, New York, USA, 2003.
- [47] N.A. Pantazis, S.A. Nikolidakis and D.D. Vergados : . In IEEE Communications surveys and tutorials, VOL. 15, NO. 2, SECOND QUARTER 2013.
- [48] N. Kumar, Sandeep, P. Bhutani and P. Mishra : *U-LEACH : A Novel Routing Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Networks*. 2012 International Conference on Communication, Information and Computing Technology (ICCICT), Oct. 19-20, Mumbai, India.
-



- 
- [49] N. Kumar and J. Kaur : *Improved LEACH Protocol for Wireless Sensor Networks*. In Proceedings of 7 th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing, Wuhan, China, 2011.
- [50] K. Singh : *WSN LEACH Based Protocols : A Structural Analysis*. Department of Computer Science and Engineering Lovely Professional University, Jalandhar Punjab, INDIA IEEE, 2015.
- [51] A. Ahlawat and V. Malik : *An extended vice-cluster selection approach to improve v leach protocol in wsn*. in : Advanced Computing and Communication Technologies (ACCT), 2013 Third International Conference on, 2013, pp. 236–240. doi :10.1109/ACCT.2013.60.
- [52] N. Sindhvani and R. Vaid : *Vleach : An energy efficient communication protocol for wsn*. *Mechanica Confab 2 (2) (2013) 79–84*.
- [53] B. Manzoor, N. Javaid, O. Rehman, M. Akbar, Q. Nadeem, A. Iqbal and M. Ishfaq : *Q-LEACH : A New Routing Protocol for WSNs* . International Workshop on Body Area Sensor Networks (BASNet-2013).
- [54] Z. Chen and K. Chen : *An improved multi-hop routing protocol for largescale wireless sensor network based on merging adjacent clusters* . *Journal of Software 8 (8) (2013) 2080–2086*.
- [55] A. Laha, X. Cao, W. Shen, X. Tian and Y. Cheng : *An energy efficient routing protocol for device-to-device based multihop smartphone networks*, in : *Communications (ICC)*. 2015 IEEE International Conference on, IEEE, 2015, pp. 5448–5453.
- [56] R.E. SHANNON : *Introduction to the art and science of simulation*. Proceedings Of the 30th conference on Winter simulation (WSC'98),1989.
- [57] Alfred and A.Manuel : *Atelier d'outils informatiques pour la physique (InfoPhys), Elements de MATLAB*. Département de la physique de la matière condensée, université de Genève, 15octobre 2004.

## Résumé

Le besoin du monde actuel d'utiliser les technologies sans fil pour extraire des informations à partir des milieux très sensibles, hostiles et inaccessibles a fait appel au réseau de capteurs. Le réseau de capteurs sans fil (RCSF) est une technologie émergente qui vise à offrir des capacités innovantes. Leur utilisation ne cesse d'augmenter et ceci dans de nombreux domaines qu'ils soient scientifiques, logistiques, militaires ou encore sanitaires. Cependant, la miniaturisation des capteurs nécessite des mécanismes de conservation d'énergie de ces derniers afin d'étendre la durée de vie du réseau, 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, le routage des données et les communications. C'est dans ce but que nous avons proposé un algorithme de routage adaptatif qui est une combinaison de deux grandes approches de routage à savoir LEACH et PEGASIS tout en ajoutant une condition pour l'élection des Cluster Head. Afin de confirmer les améliorations apportées par notre proposition nous avons conduit une simulation à l'aide de MATLAB, dans laquelle les performances de notre algorithme sont évaluées et comparées avec le protocole LEACH.

**Mots clés :** Réseau de capteurs sans fil (RCSF), conservation d'énergie, le routage des données, LEACH, PEGASIS, Cluster Head, MATLAB.

---

## Abstract

The world need today's to use wireless technologies to extract information from highly sensitive, hostile and inaccessible environments appealed to the sensor network. The wireless sensor network (WSN) is an emerging technology that aims to offer innovative capabilities. Their use is increasing and this in many areas they are scientific, logistical, military or health. However, the miniaturization of sensors requires of these energy conservation mechanisms to extend the life of the network, which is why many works are now on the management of the energy consumed by the sensors in a network, taking into account, first, the routing of data and communications.

It is for this purpose that we have proposed an adaptive routing algorithm which is a combination of two main approaches namely routing LEACH and PEGASIS all by adding a condition for election of Cluster Head. To confirm the improvements in our proposal we conducted a simulation using MATLAB, in which the performance of our algorithm are evaluated and compared with the LEACH protocol.

**Keywords :** Wireless Sensor Network (WSN), energy conservation, data routing, LEACH, PEGASIS, Cluster Head, MATLAB.