



Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Réalisé par :

DAAS Mourad

Et

BOUCIF Mounia

Thème

Routage, Optimisation de la consommation de l'énergie dans un réseau de capteurs sans fil

Soutenu le : **30/10/2021**

Devant la commission composée de :

Mr: DIB Riad	M.A.A.	Univ. Bouira	Président
Mr: SAOUD Bilal	M.C.A	Univ. Bouira	Rapporteur
Mr: CHELBI Salim	M.C.B	Univ. Bouira	Examineur

Dédicaces 1

Je dédie ce modeste travail à:

Mes parents pour leurs soutiens et encouragements.

À ceux qui m'ont tout donné pour rien.

*À ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans mes moments
les plus précieux*

Plus fort.

À ma chère amie.

À mes chères sœurs.

Pour toute ma famille.

À tous mes amis.

À tous ceux qui m'aiment et ceux que j'aime.

Mourad.

Dédicaces 2

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu et
encouragé.*

*Mes sœurs et frères pour leur aide, conseils et
encouragements.*

Tous mes amis pour leur compagnie.

*Enfin à tous ceux qui me sont cher et qui m'ont aidé de près
ou de loin.*

MOUNIA

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience nécessaires à mener ce travail à son terme.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre encadreur **Dr. SAOUD Bilal**, pour l'aide compétente qu'il nous a apporté et donné la chance d'acquérir des connaissances dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil, pour sa présence, sa motivation et son sens d'organisation.

Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail.

Nos remerciements à ceux et celles qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Table des Matières

Table des matières.....	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux.....	III
Liste des acronymes	IV
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités sur les réseaux capteurs sans-fil

I.1 Introduction.....	3
I.2 Nœud capteur.....	3
I.2.1 Architecture d'un nœud capteur.....	4
I.2.2 Caractéristiques d'un capteur.....	5
I.3 Réseaux de capteurs sans fil	6
I.3.1 Définition d'un réseau de capteurs sans fil.....	6
I.3.2 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.....	6
I.3.3 Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil.....	7
I.3.4 Facteurs de conception d'un réseau de capteurs sans fil.....	8
I.3.5 Communication dans les réseaux de capteurs sans fil	9
I.3.5.1 Pile protocolaire (modèle en couche)	10
I.3.6 Consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil	11
I.3.7 Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil	12
I.4 Conclusion	13

Chapitre II : Protocoles de routages dans les RCSF

II.1 Introduction	14
II.2 Routage	14
II.2.1 Routage dans les réseaux de capteurs sans fil	14
II.3 Classification des protocoles de routage pour les RCSF.....	15
II.3.1 Topologie du réseau.....	15
II.3.2 Paradigme de communication	17
II.3.3 Établissement des chemins	18

II. 4 Routage hiérarchique pour les (RCSF).....	19
II.4.1 Routage hiérarchique LEACH	19
II.4.2 Fonctionnement de LEACH.....	20
II.4.2.1 Phase d'initialisation.....	20
II.4.2.2 Phase de transmission	23
II.4.3 Protocole de routage EAMMH.....	24
II.4.3.1 Fonctionnement de EAMMH	24
II.4.3.1.1 Phase de mise en place	24
II.4.3.1.2 Phase de stabilité	24
II.4.4 Protocole de routage SEP	26
II.4.5 Protocole de routage E-SEP	28
II.5 Conclusion.....	28

Chapitre III : Résultats de simulation

III.1 Introduction.....	29
III.2 Présentation du Matlab.....	29
III.3 Simulation	30
III.3.1 Model énergétique.....	30
III.3.2 Paramètres de simulation	31
III.3.3 Résultats	32
III.4 Conclusion	36

Conclusion générale	37
----------------------------	-----------

Références bibliographiques	38
------------------------------------	-----------

Résumé	
---------------	--

Liste des Figures

Figure I. 1 Nœud capteur	3
Figure I. 2 Architecture matérielle d'un nœud capteur.....	4
Figure I. 3 Transformation d'une grandeur physique au signal numérique.....	4
Figure I. 4: Architecture d'un réseau de capteurs sans fil	6
Figure I. 5: Pile protocolaire d'un réseau de capteurs	9
Figure I. 6: Exemples de domaines d'applications des réseaux de capteurs	11
Figure II. 1: Les approches de routage dans les réseaux de capteurs.....	15
Figure II. 2: Topologie du réseau.....	15
Figure II. 3: Topologie à plate	16
Figure II. 4: Topologie hiérarchique	16
Figure II. 5: Paradigme de communication.....	17
Figure II. 6 : Classification selon la manière d'établissement de route.....	18
Figure II. 7 : Architecture du routage hiérarchique LEACH	19
Figure II.8: Opérations de l'étape d'initialisation de LEACH.....	20
Figure II. 9 :Phase annonce protocole LEACH	21
Figure II. 10: Phase organisation protocole LEACH.....	22
Figure II. 11: Phase ordonnancement avec TDMA protocole LEACH.....	23
Figure II. 12: Phase transmission protocole LEACH	23
Figure II. 13: Organigramme de EAMMH.....	25
Figure II. 14 :Organigramme de SEP.....	27
Figure III. 1: Modèle de consommation d'énergie	31
Figure III. 2: Nombre des nœuds morts	32
Figure III. 3: Énergie moyenne des nœuds capteur	33
Figure III. 4: Nombre de paquet envoyer Cluster Head.....	34
Figure III. 5: Nombre de paquet envoyer à station de base.	35
Figure III. 6 : Nombre de chef de zone	35

Liste des Tableaux

Tableau III. 1: Paramètre de simulation.....	31
Tableau III. 2: Comparaison entre Nb des nœuds morts des protocoles par rapport nombre de rond	32

Listes des acronymes et symboles

ADC	Analog/Digital Converter.
CDMA	Code Division Multiple Access.
CH	Cluster Head.
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection.
DD	Directed Diffusion.
DR	Distributed Randomized.
E-SEP	Enhanced Stable Élection Protocol.
EAHHM	Energy Aware Multi-hop Multi-path Hierarchical routing protocol.
GAF	Geographic Adaptive Fidelity.
GPS	Global Position System.
IP	Internet Protocol.
ID	Identifier
ISM	Industrial Scientific Medical bands.
LEACH	Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy.
MAC	Media Access Control.
PEDAD	Power Efficient Data gathering and Aggregation Protocol.
QOS	Qualité Of Service.
RCSF	Réseau de Capteur Sans Fils.
SEP	Stable Élection Protocol.
SPIN	Sensor Protocols for Information Via Négociation.
TDMA	Time Division Multiple Access.
WSN	Wireless Sensor Network.

Introduction générale

Les réseaux sont utilisés dans différents domaines à des buts différents. Nous pouvons trouver des réseaux filaires et sans fil. Parmi les réseaux filaires, on trouve Ethernet, qui est très utilisé pour transmettre des données pour les réseaux locaux. Et nous avons IEEE 802.11 pour partager des données basées sur des ondes électroniques, ce qui est un exemple de réseaux sans fil. Le réseau de capteurs sans fil (RCSF) est également un exemple de réseaux sans fil sans infrastructures, ce qui signifie qu'il n'y a pas de périphériques existants dans la topologie (comme les routeurs) pour assurer la transmission des données entre les nœuds. Aujourd'hui, les RCSF sont un sujet de recherche brûlant et de nombreux scientifiques y travaillent dans presque tous les domaines.

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) peut être défini comme un groupe de nœuds de capteurs. La mission de ces nœuds est de collecter des données à partir d'une zone prédéfinie. Les données collectées peuvent être la température, la vitesse du vent, l'humidité, la pression, etc. Les nœuds de capteur tirent généralement leur énergie des batteries connectées. En règle générale, les nœuds capteurs sont petits, jetables et ont une quantité d'énergie (puissance) limitée. Dans un RCSF, les nœuds de capteurs travaillent ensemble afin d'observer la région cible et d'envoyer des données à la station de base (BS) ou au puits. De nombreux systèmes ont été conçus et développés sur la base des RCSF. Parmi ces systèmes on trouve système de santé, le suivi des cibles, la maison intelligente, l'agriculture, les villes intelligentes, etc.

RCSF ne peut pas exister si tous ses nœuds capteurs sont à court d'énergie. L'énergie des nœuds capteurs est la plus importante dans la durée de vie d'un RCSF. Cette caractéristique de durée de vie peut être définie en fonction de nombreux critères. On trouve que la durée de vie du réseau est le laps de temps entre le déploiement et l'instant où le réseau est considéré comme non fonctionnel. Une autre définition considère la durée de vie d'un RCSF comme l'intervalle de temps, commençant par la toute première transmission dans le réseau sans fil pendant la phase de configuration et se terminant lorsque le pourcentage de rapports des nœuds de capteurs tombe en dessous d'un certain seuil, qui est fixé en fonction du type de l'application. Il n'est pas facile de répondre à la question : quand le réseau doit être considéré comme non fonctionnel? Par exemple, le RCSF peut être considéré comme non fonctionnel lorsque le premier capteur est mort, un pourcentage de capteurs sont morts ou la perte de couverture se produite.

Dans notre projet nous avons étudiés quelques protocoles de routage des RCSF. Plusieurs protocoles ont été proposés afin d'assurer la transmission de l'information dans un RCSF avec contrainte d'énergie. Nous avons basé sur les protocoles hiérarchiques. Ces protocoles démontrent une efficacité au niveau de la consommation de l'énergie. Le protocole le plus connu de cette catégorie est le protocole LEACH. Nous avons comparé et analysé les protocoles LEACH, EAMMH,

SEP, E-SEP. Les résultats de simulation prouvent que l'optimisation d'un protocole de routage a un effet considérable sur la consommation d'énergie dans un RCSF.

La structure de notre mémoire est la suivante :

Nous allons présenter des généralités sur les réseaux sans fils d'une manière générale. Ensuite, nous présentons les réseaux de capteurs sans fil avec leurs caractéristiques. Nous terminons notre chapitre avec les domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil.

Dans le deuxième chapitre nous allons présenter les protocoles de routages avec la classification des protocoles de routages dans les RCSF. Ensuite, nous allons illustrer quelques protocoles de routages dans les RCSF. Les protocoles que nous avons étudiés sont des protocoles hiérarchiques.

Dans le troisième chapitre nous allons illustrer la comparaison entre les protocoles de routages LEACH, EAMMH, SEP, E-SEP. La simulation et les résultats seront présentés dans ce chapitre aussi. Notre mémoire sera terminé par une conclusion générale.

Chapitre I: Généralités sur les réseaux capteurs sans fil

I.1 Introduction

Un réseau de capteurs est un groupe de nœuds déployés dans la zone de capture pour mesurer des grandeurs physiques, telle que la température, la pression, les vibrations, etc. Les données collectées par ces capteurs sont envoyées à la station de base et acheminées par la station de base jusqu'à l'utilisateur final via un autre réseau de communication. Ce type de réseau est utilisé par une variété d'applications militaires et civiles, telles que la santé, la surveillance, l'industrie, les transports, etc. Ces applications ont des exigences plus ou moins différentes, notamment en termes de sécurité et d'économie d'énergie.

Ce chapitre est divisé en quatre parties, dans la partie I.2 nous présentons l'architecture et Caractéristiques d'un nœud capteur. La section I.3 introduit les réseaux de capteurs, en particulier, leur architecture et caractéristiques, les facteurs pris en compte dans la conception de ce genre de réseau, la Communication dans les réseaux de capteurs sans fil, Consommation d'énergie ainsi que les domaines d'applications. Le chapitre s'achève par une conclusion dans la section I.4.

I.2 Nœud capteur

Un capteur est un dispositif de convertir l'état d'une quantité physique (informations d'entrée) en une autre grandeur physique avec des propriétés électriques, qui est convertie en la valeur mesurée dans la représentation analogique ou numérique, comme la tension, la hauteur, l'intensité, accélération, humidité [1]. La différence entre un capteur et un instrument de mesure est qu'il ne s'agit que d'une interface simple entre les processus physiques et les informations exploitables. En revanche, l'instrument de mesure est un appareil autonome avec un système d'affichage ou de stockage des données. Le capteur ne l'a pas. Nous pouvons dire que les capteurs sont des blocs de construction de base le système d'acquisition de données et sa mise en œuvre relèvent du domaine de l'instrumentation.

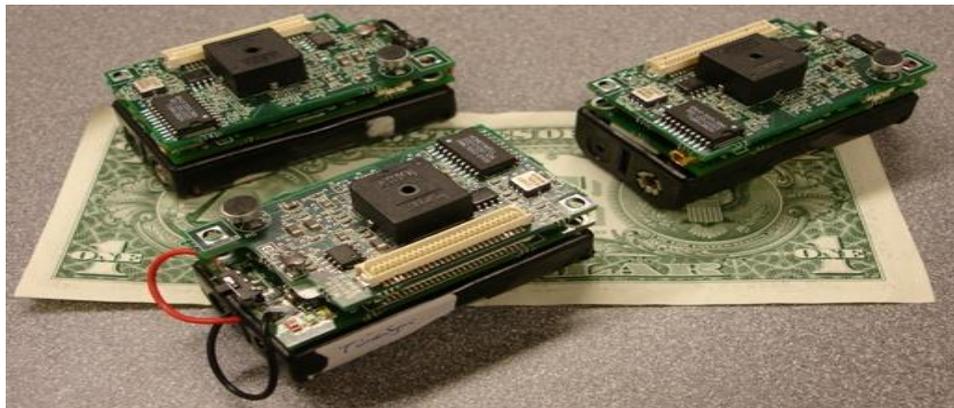


Figure I. 1 Nœud capteur [1]

I.2.1 Architecture d'un nœud capteur

L'architecture d'un capteur comprend deux parties : matérielle et Système d'exploitation

- **Matériel**

Un nœud capteur est composé de quatre unités, chacun une à une tâche particulière de captage, de traitement ou de transmission des données. Ils comprennent également une source d'énergie. Ils peuvent également avoir d'autres composants dépendants de l'application tels qu'un système de localisation, un générateur d'énergie.

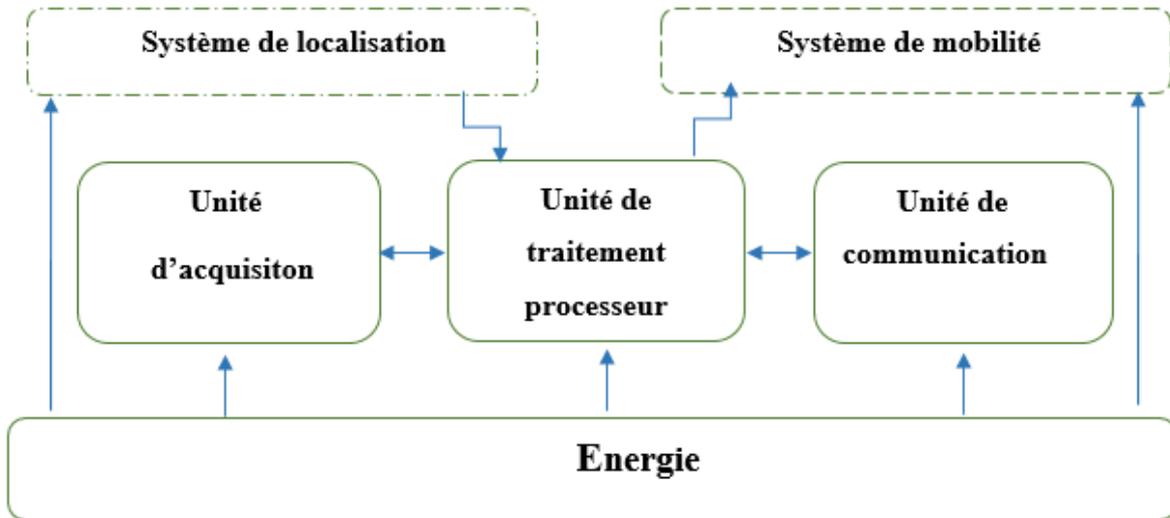


Figure I. 2 Architecture matérielle d'un nœud capteur.

❖ **Unité de captage** : Aussi appelée unité d'acquisition de données, elle est constituée de deux composants, un dispositif qui intercepte les données du monde physique et le transforme en signaux analogique/numérique (ADC : *Analog/Digital Converter*) qui transforme ces signaux analogiques produits par le capteur en un signal numérique compréhensible par l'unité de traitement [2].

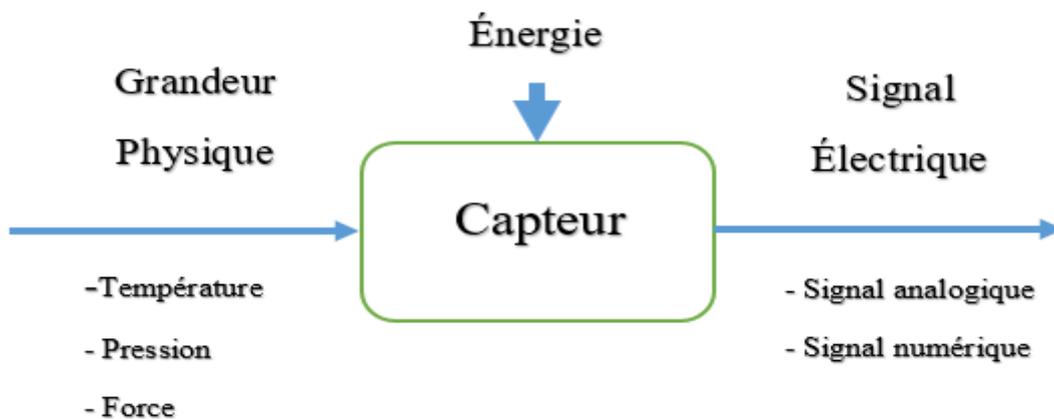


Figure I.3 : Transformation d'une grandeur physique au signal numérique.

❖ **Unité de traitement** : Aussi appelée unité de calcul, elle est composée d'un processeur et d'une mémoire. Cette unité possède deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de communication. Elle acquiert les informations de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de communication. Cette unité est chargée aussi d'exécuter les protocoles de communication qui permettent de faire collaborer un capteur avec d'autres capteurs. Elle peut aussi effectuer des semi traitements sur les données captées [2].

❖ **Unité de transmission des données** : Elle permet d'envoyer les données à travers un médium sans fil (émetteur radio muni d'une antenne suivant une fréquence), pour les récupérer par la suite sur d'autres nœuds. En effet, cette unité permet de connecter les nœuds de réseau.

❖ **Unité d'alimentation** : Appelée aussi la source d'énergie, c'est une batterie limitée et irremplaçable qui se charge d'alimenter les unités précédentes. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les réseaux de capteurs sans fil [2].

• **Système d'exploitation**

Un système d'exploitation n'est qu'un ensemble de programmes responsables d'assurer l'exploitation des ressources matérielles d'un dispositif par les applications utilisatrices.

TinyOS [3] est un système d'exploitation Open Source pour les réseaux de capteurs, conçu par l'université américaine de BERKELEY. La fonctionnalité open source permet à un grand nombre d'utilisateurs d'enrichir régulièrement le système. Sa conception est entièrement réalisée en NesC, qui est un langage orienté composants proche du C en syntaxe. Il respecte l'architecture basée sur les associations de composants, réduisant ainsi la taille du code nécessaire à la mise en œuvre. Cela s'inscrit dans le respect des contraintes de mémoires qu'observent les capteurs, pourvus de ressources très limitées dues à leur miniaturisation.

I.2.2 Caractéristiques d'un capteur

Un capteur est caractérisé par plusieurs aspects selon [4], nous citons :

- **L'étendue de la mesure** : Il s'agit de la différence entre les limites supérieure et inférieure la grandeur mesurable par un capteur.
- **La linéarité** : Elle caractérise la capacité du capteur à fournir une grandeur de sortie, et sa valeur est proportionnelle à la valeur mesurée.
- **La non-linéarité** : Ceci représente la différence maximale entre le signal de sortie du capteur et la ligne de référence dans la plage de mesure spécifiée.
- **La sensibilité** : Elle représente la variation du signal de sortie par rapport au signal d'entrée.
- **La précision** : C'est la capacité du capteur à fournir des mesures proches de la réalité.

I.3 Réseau de capteurs sans fil

Le réseau de capteurs sans fil est l'une des technologies de nouvelle génération Réseau informatique et télécommunications.

I.3.1 Définition d'un réseau de capteur sans fil

Un réseau de capteurs sans-fil est considéré comme un type particulier des réseaux ad hoc ou l'infrastructure fixe de communication et d'administration centralisée sont absentes et les nœuds jouent à la fois le rôle d'hôte et de routeur. Les nœuds capteurs sont des capteurs intelligents (*smart sensor*), capables d'accomplir trois tâches complémentaires échantillonnage une grandeur physique, le traitement éventuel de cette information et communication avec d'autres capteurs. Tous ces capteurs sont déployés de manière aléatoire pendant une période de temps Application à la constitution d'un réseau de capteurs [5].

I.3.2 Architecture d'un réseau de capteur sans fil

Les nœuds capteurs sont souvent dispersés dans une zone géographique, appelée zone de capture qui définit le champs d'intérêt pour le phénomène observé. Les données captées sont acheminées au point de collecte comme montré dans la Figure I.4 [6]. La station de base ou le nœud puits constitue une passerelle entre le réseau de capteurs et l'utilisateur final. Ainsi, l'usager peut surveiller et commander l'environnement à distance via l'internet ou un satellite, en adressant des requêtes précisant le type de données requises à collecter aux autres nœuds du réseau via le nœud puits. Les stations de base possèdent beaucoup plus de capacités que les capteurs tant au niveau de la mémoire que de la vitesse de traitement ou des réserves en énergie.

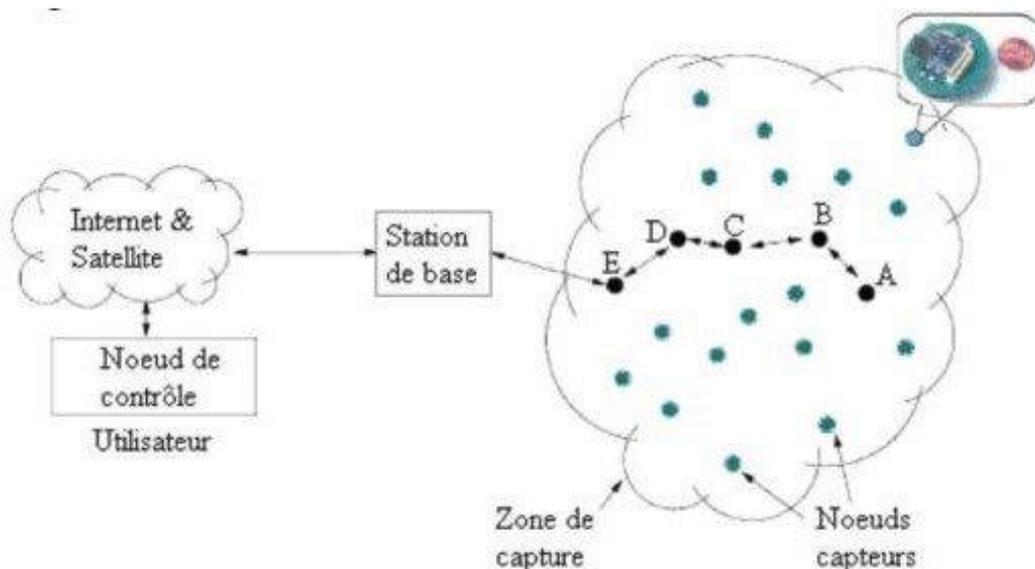


Figure I. 4: Architecture d'un réseau de capteurs sans fil [6].

I.3.3 Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil

- **Énergie limitée** : Dans les réseaux de capteurs, la consommation d'énergie est une contrainte très importante car les capteurs sont généralement déployés dans des endroits inaccessibles, il est donc difficile voire impossible de remplacer la batterie lorsque la batterie est épuisée. En effet, la consommation d'énergie au niveau des capteurs a un grand impact sur la durée de vie de l'ensemble du réseau [7].
- **Forte densité** : Les réseaux de capteurs se caractérisent par une forte densité de nœuds déployés dans la zone surveillée. Un réseau peut contenir des centaines voire des milliers de nœuds capteurs. Si plusieurs nœuds de capteurs sont trouvés dans une zone, on peut remplacer un nœud défectueux par un autre nœud. Cependant, la densité de déploiement pose des problèmes de communication entre les nœuds, cela peut provoquer des collisions ou endommager les paquets de données transmis [8].
- **Couverture limitée** : Dans les réseaux capteurs sans fil, chaque nœud obtient une vue partielle de l'environnement limitée par sa portée. La couverture de la grande zone est la combinaison de nombreuses petites couvertures fournies par ces nœuds.
- **Absence d'adressage fixe des nœuds** : Les nœuds des réseaux sans fil traditionnels sont identifiés par des adresses IP. Cependant, ce concept n'existe pas dans RCSF. Ce dernier utilise des attributs basés sur des phénomènes capturés pour l'adressage, nous l'appelons donc adressage basé sur les attributs. En fait, les demandes des utilisateurs ne sont généralement pas dirigées vers un seul nœud, mais vers un groupe de nœuds identifiés par des attributs
- **Mobilité** : La mobilité devient un enjeu clé pour certains types de réseaux de capteurs. Par exemple, dans les applications de détection intégrées à des capteurs Équipements mobiles, tels que des véhicules ou des animaux. Si la liquidité est trop fréquente, elle ne peut pas être considérée comme un problème secondaire dans cet environnement. Ainsi, la détection des voisins et la reconfiguration du réseau nécessitent généralement un grand nombre de messages de contrôle de topologie, dont Causer beaucoup de consommation d'énergie. De plus, un autre type de liquidité on peut considérer qu'il s'agit de la mobilité de la station de base et d'autres, lorsque deux appareils se déplacent en même temps : nœud et station de base [7].
- **Ressources limitées** : Le capteur est un très petit objet de communication, ce qui limite leurs ressources dans les aspects suivants : mémoire disponible, puissance de traitement, bande passante surtout en termes d'énergie aéroportée. En fait, il existe de nombreuses stratégies pour déployer des nœuds de réseau de capteurs dans la zone à surveiller. Le choix d'une de ces stratégies dépend du type d'application et des objectifs du réseau, le déploiement peut être déterministe ou aléatoire.
- **Auto organisation du réseau et évolutivité de la topologie** : Cela peut être nécessaire car la densité des nœuds capteurs est élevée, et ils sont déployés dans des zones d'intérêt clés où aucune

intervention humaine ne peut assurer leur organisation (destruction physique), car de nouveaux nœuds peuvent Rejoignez le réseau. Par conséquent, le réseau doit pouvoir s'auto-organiser et se modifier régulièrement afin de s'adapter aux changements de topologie tout en assurant son fonctionnement normal [7].

I.3.4 Facteurs de conception d'un réseau de capteurs sans fil

Les principaux facteurs et contraintes qui peuvent influencer la conception des RCSF sont :

- **Tolérance aux pannes :** Le principe de la tolérance aux pannes est de maintenir le fonctionnement du réseau lorsqu'un ou plusieurs nœuds capteurs tombent en panne. Cette panne peut être causée par une perte d'énergie, des dommages physiques, etc. On dit que lorsque le nombre de nœuds défaillants est important et que le réseau fonctionne toujours bien, la tolérance aux pannes est meilleure [9].
- **Facteur d'échelle :** Le réseau doit être capable de fonctionner avec un très grand nombre de capteurs qui peut atteindre des milliers de nœuds tout en permettant l'augmentation de ce nombre et la concentration (densité) de ces derniers dans une région (pouvant dépasser 20 nœuds/m²).
- **Coût de production :** Le coût de production d'un seul capteur est très important pour évaluer le coût global du réseau. Si cette dernière est supérieure à la valeur requise pour déployer des capteurs classiques, l'utilisation de cette nouvelle technologie est financièrement déraisonnable. Par conséquent, réduire le cout de production jusqu'à moins de 1 dollar par nœud est un objectif important pour la faisabilité de la solution des réseaux de capteurs sans-fil [10].
- **Contraintes matérielles:** La taille réduite des capteurs permet le déploiement facile du réseau d'une part, elle est aussi la source des contraintes matérielles des RCSF, parmi ces contraintes: La puissance limitée des batteries alimentant les nœuds capteurs, pour cela la consommation d'énergie doit être moindre afin de prolonger la vie du réseau. Une faible capacité de calcul car les processeurs des nœuds capteurs sont différents de ceux d'une machine classique, ils utilisent plutôt des microcontrôleurs de faibles fréquences. Les nœuds capteurs doivent aussi être autonomes et résistants puisqu'ils sont déployé dans des environnements hostiles [9] [11] [2].
- **Support de transmission :** Les nœuds sont reliés de manière sans-fil. Cette liaison peut se faire par radio, signaux infrarouges ou supports optiques. Il est nécessaire de s'assurer de la disponibilité du mode de transmission choisi dans l'environnement de capture pour permettre au réseau de mener à bien toutes ses tâches. Elle est utilisée pour les liaisons de communication par radiofréquence, les bandes ISM (*Industrial Scientific Medical bands*) peuvent être utilisées. Pour les réseaux de capteurs, les unités de transmission intégrées au niveau des nœuds doivent être de petite taille et à faible consommation d'énergie [12].
- **Topologie du réseau :** En raison de leur forte densité dans la zone à observer, les nœuds capteurs doivent pouvoir s'adapter à leur fonctionnement afin de maintenez la topologie souhaitée.

On distingue généralement 3 phases dans la mise en place et l'évolution d'un réseau :

- ❖ **Déploiement** : Les nœuds sont soit répartis de manière prédéfinie soit de manière aléatoire (lancés en masse depuis un avion). Il faut alors que ceux-ci s'organisent de manière autonome.
- ❖ **Post-Déploiement -Exploitation** : Durant la phase d'exploitation, la topologie du réseau peut être soumise à des changements dus à des modifications de la position des nœuds ou bien à des pannes.
- ❖ **Redéploiement** : L'ajout de nouveaux capteurs dans un réseau existant implique aussi une remise à jour de la topologie [10].
- **Consommation d'énergie** : Les nœuds capteurs sont équipés d'une batterie à énergie limitée, dont la recharge est coûteuse et parfois impossible. L'énergie doit être économisée pour prolonger la durée de vie de l'ensemble du réseau [10]. À cet effet, des périodes de veille sont prévues durant l'inactivité des capteurs actuels afin de préserver leur énergie [13].

I.3.5 Communication dans les réseaux de capteurs sans fil

Dans les réseaux de capteurs, les nœuds doivent bien réagir avec l'environnement où ils sont placés. Ainsi, ils doivent permettre une communication multi sauts pour les données qui circulent dans la zone de capture. Pour cela, un modèle de communication est proposé par Ian et al [14] dont le rôle principal est la standardisation de la communication entre les participants afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles. Ce modèle combine l'énergie et le routage, combine les données avec les protocoles réseau et promet une communication efficace entre les différents nœuds via des médias sans fil.

I.3.5.1 Pile protocolaire (modèle en couche)

La pile protocolaire, utilisée par la station de base ainsi que tous les autres capteurs d'un réseau de capteurs (Figure 1.4) comprend cinq couches : couche application, couche transport, couche réseau, couche liaison de données et couche physique. Ainsi que Trois plans : plan de gestion de l'énergie, plan de gestion des tâches et plan de gestion de la mobilité.

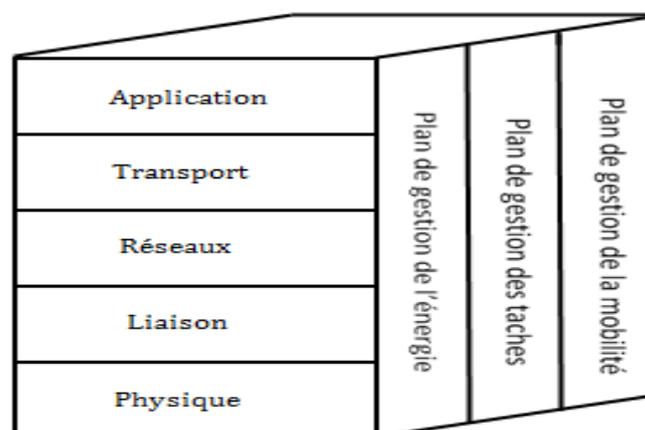


Figure I. 5: Pile protocolaire d'un réseau de capteurs [14].

- **Couche application** : Selon la fonction du capteur, différentes applications peuvent être utilisées et implémentées sur cette couche. Il fournit un mécanisme qui permet aux utilisateurs d'interagir avec le réseau en fournissant une interface pour créer et diffuser des demandes et une méthode pour interpréter les réponses reçues [14].
- **Couche transport** : La couche transport aide à gérer le flux de données si le réseau de capteurs l'exige. La couche transport permet de gérer le flux de données. Il permet aux données de la couche application d'être divisées en segments pour les transmettre, réorganisant et collectant ainsi les segments de la couche réseau
- **Couche réseau** : Cette couche est responsable des fonctions de routage et de la gestion de la topologie.
- **Couche liaison de données** : La couche liaison est à la charge du multiplexage de données, détection des trames, la gestion de l'accès au support de communication et le contrôle d'erreurs [5]. Elle assure la fiabilité de la communication point à point et multipoint. Cependant, les protocoles MAC (Media Access Control) conventionnels ne sont pas directement applicables dans les réseaux de capteurs. Cette couche doit utiliser un protocole qui doit être capable de minimiser les collisions avec les transmissions adjacentes et de minimiser les retransmissions.
- **Couche physique** : Doit fournir une technique robuste de transmission, de réception et de modulation pour les données
- **Plan de gestion d'énergie** : Cette partie gère la manière dont les nœuds utilisent leurs énergies. Généralement un capteur ne nécessite qu'une source énergétique limitée. Comme la vie du nœud a une dépendance forte à l'égard de la vie de la batterie, il doit par conséquent contrôler et minimiser sa consommation d'énergie. Par exemple, après la réception d'un message, le capteur éteint son récepteur et se met en mode sommeil afin d'éviter la duplication des messages déjà reçus. En outre, si le niveau d'énergie atteint un seuil bas, le nœud diffuse à ses voisins une alerte pour les informer qu'il ne peut pas participer au routage. L'énergie restante est réservée à la capture [14].
- **Plan de gestion de mobilité** : Ce niveau détecte et enregistre tous les mouvements des nœuds de capteurs afin qu'ils puissent suivre en permanence Pour l'utilisateur final, le nœud peut suivre l'emplacement de ses voisins.
En connaissant l'emplacement des voisins, les nœuds peuvent équilibrer leur consommation d'énergie.
- **Plan de gestion de tâche** : Le niveau de gestion des tâches assure l'équilibrage et la distribution des tâches sur les différents nœuds du réseau, afin d'assurer un travail coopératif et efficace en matière de consommation d'énergie, et par conséquent, prolonger la durée de vie du réseau [14].

I.3.6 Consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil

L'énergie consommée par les nœuds capteurs provient principalement des opérations suivantes : capture, traitement et communication des données [15] :

- **Énergie de capture** : Capturez la dissipation d'énergie pour effectuer les tâches suivantes : échantillonnage, conversion analogique-numérique et activation de la sonde de capture. Généralement, l'énergie capturée représente une petite partie de l'énergie totale consommée par le nœud.
- **Énergie de traitement** : L'énergie de traitement est divisée en 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 le logiciel).
 - ❖ L'énergie de fuite correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. Généralement, l'énergie de traitement est faible par rapport à l'énergie de traitement nécessaire à la communication.
- **Énergie de communication** : L'énergie de la communication vient de deux parties : Recevoir de l'énergie et transmettre de l'énergie. L'énergie est déterminée par la quantité de données à communiquer, la distance de transmission et les caractéristiques physiques du module radio. La transmission d'un signal est caractérisée par sa puissance. Lorsque la puissance d'émission est grande, la plage de signal est grande et la puissance consommée est également grande. On peut dire que l'énergie de communication représente la plus grande partie de l'énergie consommée par le nœud capteur de l'utilisation d'un capteur sans fil.

I.3.7 Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteur sans fil pénètrent de plus en plus dans notre vie quotidienne. Ils sont employés dans plusieurs domaines d'applications comme l'illustre la figure I.6 ou ils peuvent offrir les meilleures contributions parmi lesquels nous citons :

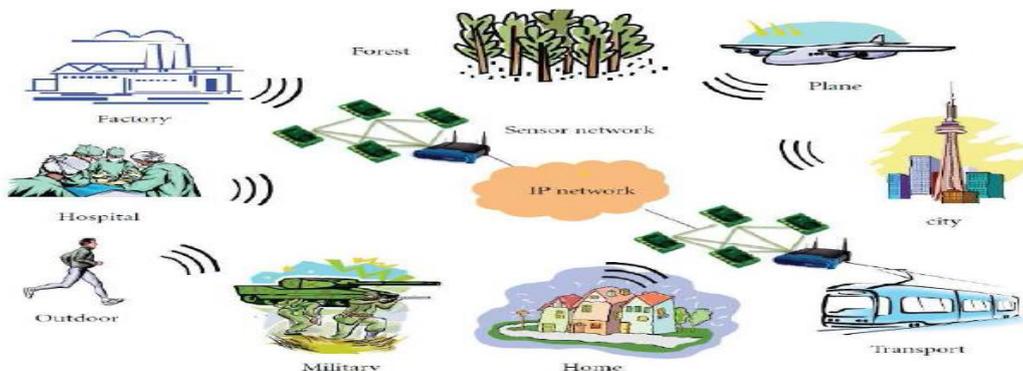


Figure I. 6: Exemples de domaines d'applications des réseaux de capteurs [16].

- **Applications militaires** : Le domaine militaire ne sera pas épargné non plus. Il pourra utiliser les RSCSF par exemple dans la détection et la collecte d'informations sur la position de l'ennemi et ses mouvements, la détection d'agents chimiques ou bactériologiques.
 - **Applications médicales** : L'utilisation des réseaux de capteurs dans le domaine de la médecine peut apporter une surveillance permanente des patients et une possibilité de collecter des informations physiologiques de meilleure qualité, facilitant ainsi le diagnostic de maladies grâce à des micro-capteurs qui pourront être ingérés ou implantés sous la peau. D'autre part, ces réseaux peuvent détecter des comportements anormaux (chute d'un lit, choc, cri, ...) chez les personnes handicapées ou âgées [17] [18].
 - **Applications domestiques** : Comme la technologie progresse, les nœuds capteurs intelligents et actionneurs peuvent être embarqués dans des dispositifs, comme l'aspirateur, micro-onde, réfrigérateurs. Ces capteurs dans les dispositifs domestiques peuvent interagir entre eux et avec un réseau externe par Internet ou satellite. Ils permettent à l'utilisateur final de gérer les dispositifs domestiques localement ou à distance plus facilement.
 - **Applications environnementales** : Le contrôle des paramètres environnementaux par les réseaux de capteurs peut donner naissance à plusieurs applications. Par exemple, le déploiement des thermocapteurs dans une forêt peut aider à détecter un éventuel début de feu et par suite faciliter la lutte contre les feux de forêt avant leur propagation. Le déploiement des capteurs chimiques dans les milieux urbains peut aider à détecter la pollution et analyser la qualité d'air. De même leur déploiement dans les sites industriels empêche les risques industriels tels que la fuite de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs, pétrole, etc.).
- Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés pour réagir aux changements climatiques par exemple le processus d'irrigation lors de la détection de zones sèches dans un champ agricole [19].
- **Applications commerciales** : Les capteurs peuvent être utilisés pour le contrôle environnemental des bâtiments, pour permettre une meilleure gestion des ressources à faibles coûts, la surveillance de l'état du matériel, le contrôle et l'automatisation des processus d'usinage [16] [20].

I.4 Conclusion :

Un réseau de capteurs est un ensemble de capteurs déployés dans la zone de capture pour la mesure physique. Dans ce chapitre, nous avons introduit ce type de réseau, en particulier, nous avons présenté l'architecture, les caractéristiques, les facteurs influant sur la conception des réseaux de capteurs, ainsi que les domaines d'applications de ce genre de réseau. Il a été constaté que la recherche de réseaux de capteurs est plus orientée à économiser l'énergie afin de prolonger la durée de vie du réseau. Pour cette raison, le routage est considéré comme l'un des aspects de recherche les plus

importants. Dans le chapitre suivant, nous allons mettre l'action sur le protocole, le routage et ses techniques dans les réseaux de capteurs.

Chapitre II: Protocoles de routages dans les RCSF

II.1 Introduction :

Le problème principal dans RCSF est le contrôle de l'énergie consommée par chaque nœud capteur, ce qui nécessite une optimisation de ce dernier pour prolonger la durée de vie du réseau. Cette problématique a été largement étudiée. Et plusieurs technologies ont été utilisées pour assurer l'efficacité énergétique. Parmi eux, la technologie d'équilibrage de charge est très avantageuse car elle permet de partager le trafic sur tous les nœuds. Dans ce chapitre, nous allons d'abord décrire le protocole de routage dans RCSF et citer quelques exemples. Dans un deuxième temps, nous exposerons des protocoles de routage hiérarchique dans RCSF pour assurer l'efficacité énergétique.

LEACH est le premier protocole de routage en cluster mis en œuvre. Il est également considéré comme la base d'autres protocoles de routage en cluster.

II.2 Routage

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

- **Routage des données** : Se fait d'un capteur à un autre capteur, ou au point de contrôle, ou au utilisateur à travers le réseau.
- **Routage des requêtes** : Peut provenir du capteur, du point de contrôle ou de l'utilisateur jusqu'à ce que le capteur détecte le stimulus [21].

II.2.1 Routage dans les réseaux de capteurs sans fil

Dans un RCSF, un grand nombre de capteurs sont déployés pour surveiller des phénomènes et signaler l'information au centre de contrôle à distance. Pour atteindre cet objectif, les capteurs ont la capacité de communiquer et de coopérer entre eux, d'acheminer les informations collectées vers la station de base, tout en assurant sa fiabilité, et d'utiliser le chemin le plus court entre le nœud qui détecte ce phénomène et la station de surveillance. Cette opération permet d'acheminer les informations entre le nœud détecteur et le nœud, puis trouver le chemin le plus court. Dans cette optique, plusieurs protocoles de routage ont été proposés pour améliorer le routage dans les RCSF.

Les contraintes présentées dans les RCSF ont données naissance à des protocoles de routage différents que ceux des autres réseaux sans fil puisque la contrainte énergétique se pose avec force dans les RCSF. Par conséquent, le protocole de routage conçu pour RCSF doit garantir que les informations sont acheminées entre n'importe quel nœud et station de base du réseau à un faible coût énergétique [22].

II.3 Classification des protocoles de routage pour les RCSF

Afin d'établir une communication dans un réseau de capteurs, un protocole de routage basé sur une communication multi-sauts doit être utilisé. Cependant, il existe de nombreux protocoles dont les principes de fonctionnement diffèrent selon les principes de la méthode à laquelle ils appartiennent. Ces méthodes peuvent être distinguées selon : la topologie du réseau, le paradigme de communication et l'établissement des chemins.

La figure suivante montre la méthode de routage dans le réseau de capteurs :



Figure II. 1: Les approches de routage dans les réseaux de capteurs.

II.3.1 Topologie du réseau

Les protocoles de routage basés sur la structure du réseau peuvent être divisés en trois catégories



Figure II. 2: Topologie du réseau.

- **Topologie à plate**

Dans une topologie plate, tous les nœuds de capteur ont le même rôle et travaillent ensemble pour effectuer les tâches de routage. Les réseaux plats se caractérisent par des protocoles de routage

simples, de faibles coûts de maintenance, une tolérance aux pannes élevée et la capacité de construire de nouveaux chemins en fonction des changements de topologie. Cependant, les nœuds proches du puits sont plus impliqués dans les tâches de routage que les autres nœuds [16].

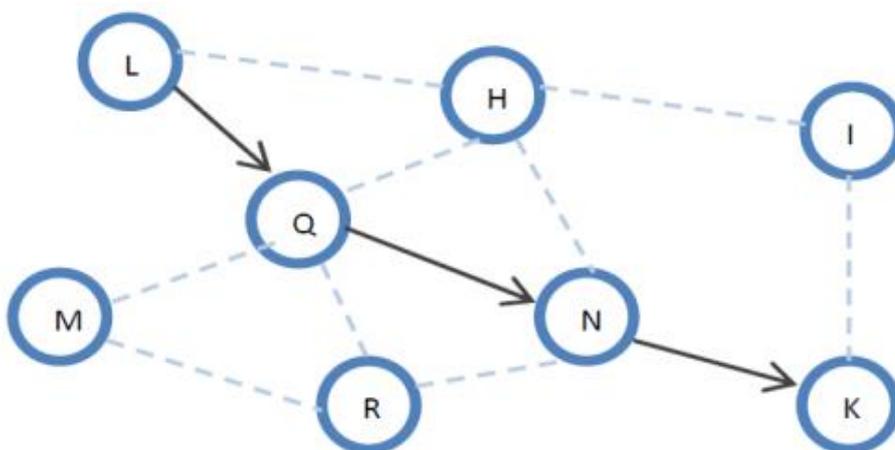


Figure II. 3: Topologie à plate [16]

- **Topologie hiérarchique**

La topologie hiérarchique Cette approche est basée sur la formation de clusters (zones communes). Le principe est de router les données récoltées par chaque nœud du cluster à son chef de zone (Cluster Head), qui est après des traitements sur leurs parties communes, les transmettra à la prochaine destination (Si le CH ne pouvait pas atteindre directement la station de base, les informations seraient routées vers le prochain chef de zone) [16].

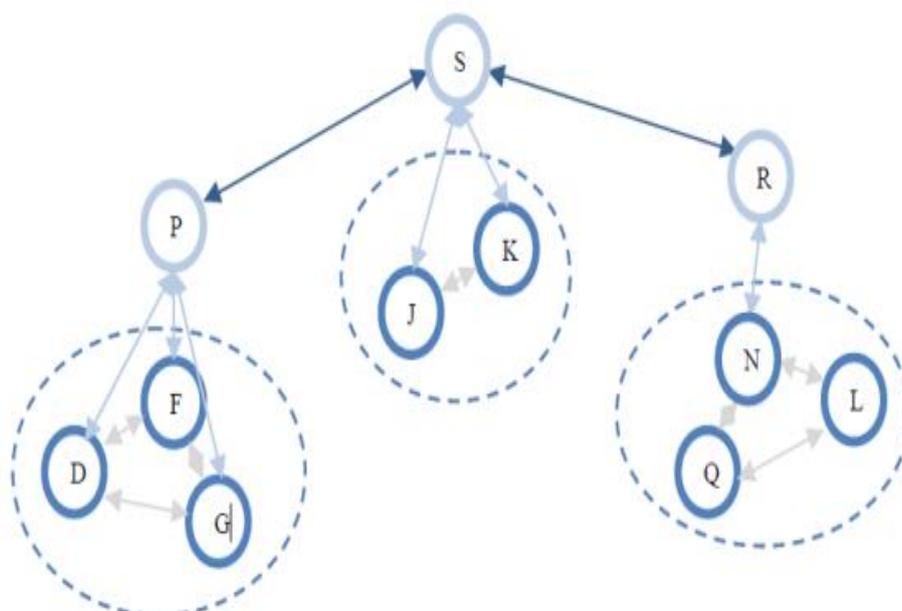


Figure II. 4: Topologie hiérarchique

II.3.2 Paradigme de communication

Le paradigme de communication détermine comment les nœuds du réseau sont interrogés. Dans les RCSF, il existe trois sortes de paradigmes de communication [23] :

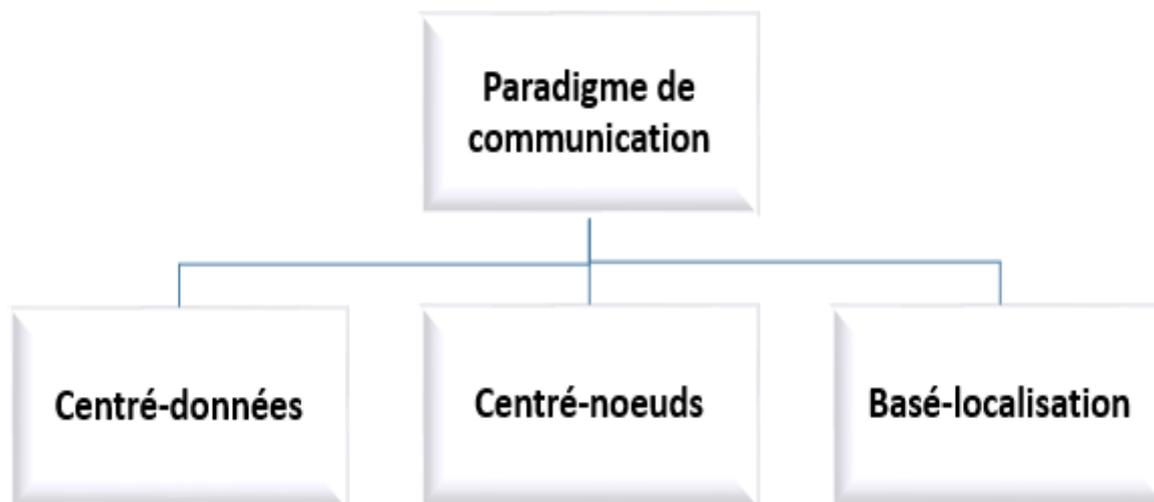


Figure II. 5: Paradigme de communication

- **Données centré** : Dans les RCSF, le principe de ce paradigme est généralement de donner l'importance aux données disponibles au niveau de nœud capteur plus que le nœud lui-même [24]. La solution proposée pour y remédier est l'utilisation des protocoles centré-données qui visent aussi l'utilisation de l'agrégation de données afin d'éviter le gaspillage d'énergie. Parmi ces protocoles nous citons: DD, SPIN [25].
- **Nœuds centré** : Le principe de ce paradigme est basé sur l'utilisation de l'identification individuelle des nœuds participants à la communication dans le réseau. Or cette technique est très gourmande en terme de ressources ce qui rend ce paradigme peu utilisé dans les RCSF mais reste à ne pas l'écarté car certaines applications nécessitent l'interrogation individuelle des nœuds. Par contre ce type de paradigme est utilisé beaucoup plus dans les réseaux conventionnels et réseau Ad-hoc. Comme exemple de protocole nous citons: PEDAD, LEACH.
- **Basé-localisation (Centré-position)** : Le principe de communication de ce paradigme est basé sur la localisation des nœuds dans le réseau et le routage s'effectue grâce à des techniques géographiques afin d'acheminer les données d'une sous-région à une autre. Avant d'envoyer ses données à un nœud destinataire, le nœud émetteur utilise une technique pour déterminer sa localisation géographique dont le degré de précision dépend de l'application en question.
Vu que la localisation par le système GPS est trop couteuse pour les RCSF, Parmi les protocoles position centrique on peut citer GAF (*Geographic Adaptive Fidelity*) [26].

II.3.3 Établissement des chemins

Selon la manière dont les chemins sont créés et maintenus lors du routage, nous classons les protocoles de routage en trois catégories : les protocoles actifs, les protocoles réactifs ou les protocoles hybrides.

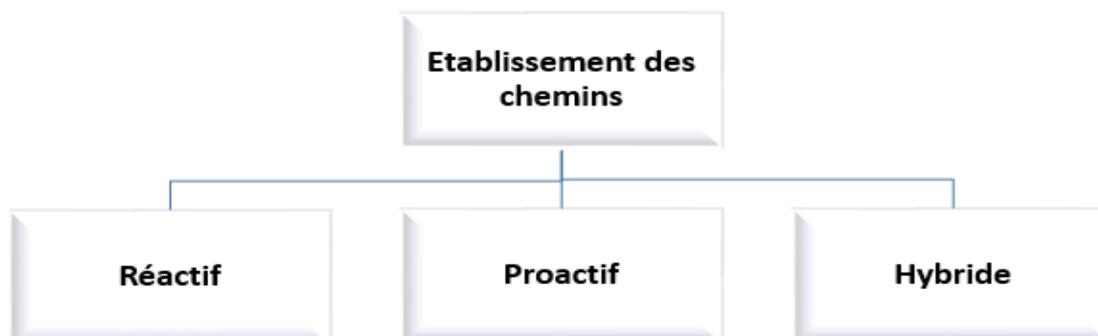


Figure II. 6 : Classification selon la manière d'établissement de route.

- **Routage proactif**

Ils utilisent un échange régulier de messages de contrôle pour maintenir chaque nœud de la table de routage (avec chaque destination ou un groupe destination un voisin direct à travers lequel le paquet sera relayé) vers n'importe quelle destination. Il peut être atteint à partir de celui-ci. Même si l'itinéraire n'existe pas, ces tables seront maintenues et utilisées. Cette méthode nous permet d'avoir un itinéraire vers chaque destination et d'envoyer le colis immédiatement. L'accord actif est convenable pour les applications qui ont besoin de collecter des données régulièrement. Et par conséquent, le capteur peut se mettre en veille pendant les périodes d'inactivité, et n'active leurs dispositifs de capture qu'à certains moments [6].

- **Routage réactif**

Lorsqu'un nœud a besoin de routage, il démarre le processus de découverte globale. Le processus se termine lorsque la découverte de la route ou toutes les permutations possibles de la route ont été vérifiées. La route trouvée est maintenue par le processus de maintenance de route jusqu'à ce que la destination ne puisse pas être atteinte depuis le nœud source ou que le nœud source n'ait plus besoin de la route [6].

- **Protocole hybride**

Ces protocoles combinent les deux idées de protocoles actifs et passifs. Ils utilisent des protocoles actifs pour se renseigner sur les voisins (par exemple, les quartiers à deux ou trois sauts). Par conséquent, ils ont des routes à proximité. En dehors de la zone voisine, le protocole hybride utilise un protocole réactif pour rechercher des routes [6].

II.4 Le routage hiérarchique pour les (RCSF)

Les protocoles de routage hiérarchique sont basés sur la division dynamique du réseau en un ensemble de clusters. Il doit assurer un fonctionnement optimal du réseau en minimisant la consommation de ressources en termes d'énergie et de temps de transfert d'informations. La mise en œuvre du protocole est passée par trois phases de fonctionnement : la phase d'annonce et de création du cluster, la phase de programmation et la phase de transmission.

- **Phase d'annonce et création de cluster** : A cette étape, la SB annonce une nouvelle étape de progrès. Différents nœuds sont auto-sélectionnés en tant que chefs de cluster sur la base de la probabilité d'élection et d'un pourcentage prédéterminé de sélection de chefs de cluster [5% à 15%].
- **Phase de programmation** : Une fois le cluster formé, chaque CH passe d'un simple rôle de membre de nœud à un rôle de centre de coordination pour la transmission d'informations au sein de son groupe.
- **Phase de transmission** : C'est une phase de collecte d'informations qui permet de commenter les performances et la robustesse du protocole [27].

II.4.1 Routage hiérarchique LEACH

La hiérarchie de regroupement d'adaptation à faible énergie (Leach) proposé par Heinzelman et al. [15], est un protocole de routage hiérarchique bien connue appliqué dans les RCSF.

LEACH divise le réseau clusters de façon distribuée, des nœuds CH (cluster Head) sont constitués puis utilisés comme relais pour atteindre le SB en optimisant la consommation d'énergie suivant un algorithme qui utilise la rotation randomisée des têtes de groupe pour distribuer équitablement la charge d'énergie entre les nœuds de réseau. Un nœud décide quel cluster rejoindre en se basant sur la puissance des signaux reçus.

Lors de la formation d'un groupe comme illustré à la figure II.7, tous les nœuds non-CH transmettront leurs données au chef de groupe. Lorsque CH reçoit de tous Les membres du groupe exécutent des fonctions de traitement sur les données (par exemple Agréger et compresser des données...),

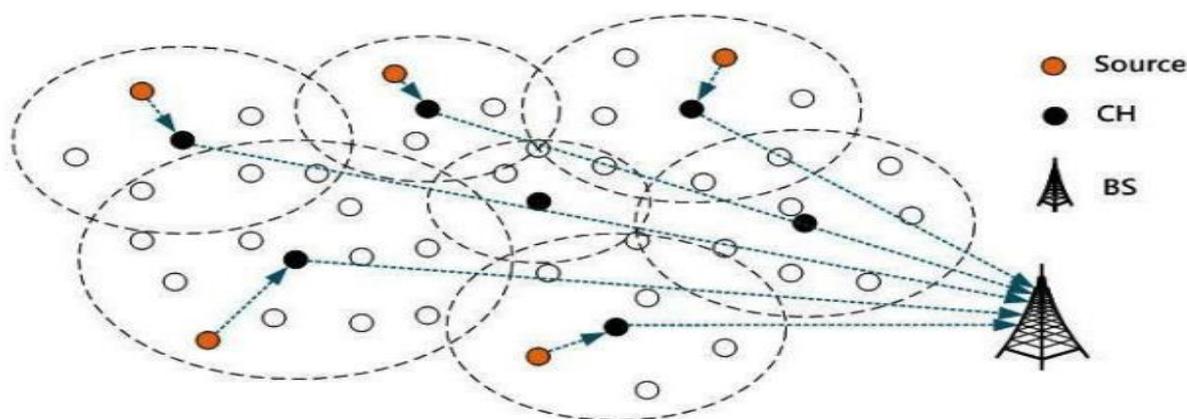


Figure II. 7 : Architecture du routage hiérarchique LEACH [28].

II.4.2 Fonctionnement de LEACH

Le protocole LEACH prend pour hypothèse l'égalité des énergies résiduelles des capteurs lors du démarrage de fonctionnement du réseau. La vie du réseau est alors segmentée en rounds caractérisés par un choix de CH.

Or, Chaque round est constitué de deux phases : la phase de mise en place qui est une phase d'initialisation et la phase de stabilité une phase de transmission.

II.4.2.1 La phase d'initialisation (mise en place)

Comme l'indique la figure II.8, La phase de mise en place est composée à son tour, de trois sous-phases : d'annonce, d'organisation des groupes et enfin d'ordonnancement.

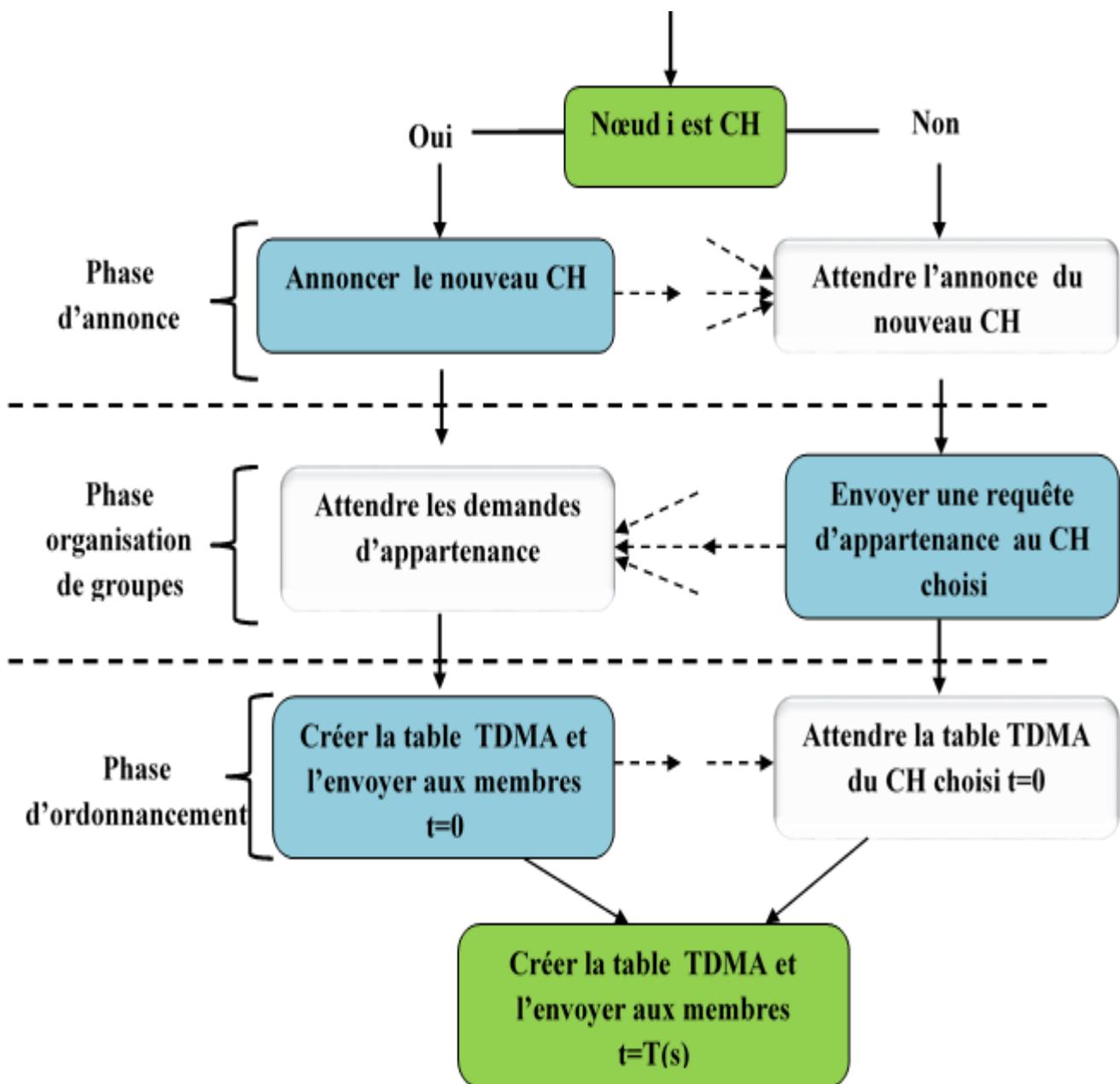


Figure II.8 : Opérations de l'étape d'initialisation de LEACH.

• Phase d'annonce

Avant de lancer cette phase, on désire avoir un certain nombre de CH. Ce nombre est fixe et il est inchangé durant tous les rounds. Le pourcentage optimal du nombre de CH désirés devrait être de 5% à 15% du nombre total de nœuds [29]. Si ce pourcentage n'est pas respecté, cela mènera à une grande dissipation d'énergie dans le réseau [29].

Dès que le puits annonce un nouveau tour, les nœuds prennent décision de devenir ou pas CH selon une certaine probabilité. Chaque nœud i choisit un nombre aléatoire entre 0 et 1. Si le nombre est inférieur à un seuil $p_i(n)$ le nœud devient un CH pour le cycle actuel. Le seuil est défini comme suit [15] :

$$\text{Nombre CH} = \sum_{i=1}^N P_i(n) = p \tag{II. 1}$$

Où N est le nombre total de nœuds dans le réseau.

$$P_i(n) = \frac{\text{le nombre de CH désirés}}{\text{le nombre de nœuds qu n'ont pas encore été élus CH durant les } r \text{ rounds précédants}} \tag{II. 2}$$

$$P_i(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \times (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{si } n \in G \\ 1 & \text{sinon} \end{cases} \tag{II. 3}$$

$p_i(n)$: Seuil

p : Pourcentage souhaité de CHs c'est-à-dire choisi comme $p = 0,05$ pour une condition Optimale

r : Tour courant (round)

G : Ensemble des nœuds qui n'ont pas été CHs lors des $(1/p)$ tours précédents.

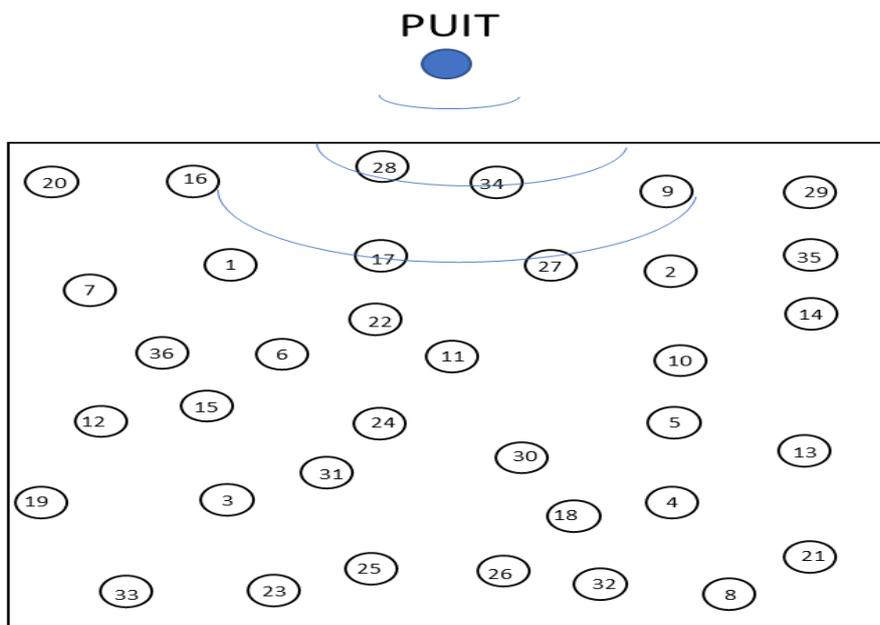


Figure II. 9 : Phase annonce protocole LEACH.

• **Phase d'organisation des clusters**

Après qu'un nœud soit élu CH, il doit informer les autres nœuds capteurs de son nouveau rang dans le round courant. Pour cela, un message d'avertissement contenant l'identificateur du CH est diffusé à tous les autres nœuds en utilisant le protocole CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) pour éviter les collisions entre les CHs. La diffusion permet de s'assurer que tous les nœuds ont reçu le message. Par ailleurs, elle permet de garantir que les nœuds appartiennent au CH qui requiert le minimum d'énergie pour la communication. La décision est basée donc sur l'amplitude du signal reçu, le CH ayant le signal le plus fort, c'est-à-dire le plus proche, sera choisi. En cas d'égalité des signaux, les nœuds ordinaires choisissent aléatoirement leur CH [15]. Chaque membre informe son CH de sa décision. Une fois que le CH ait reçu la demande, il lui envoie un message d'acquiescement.

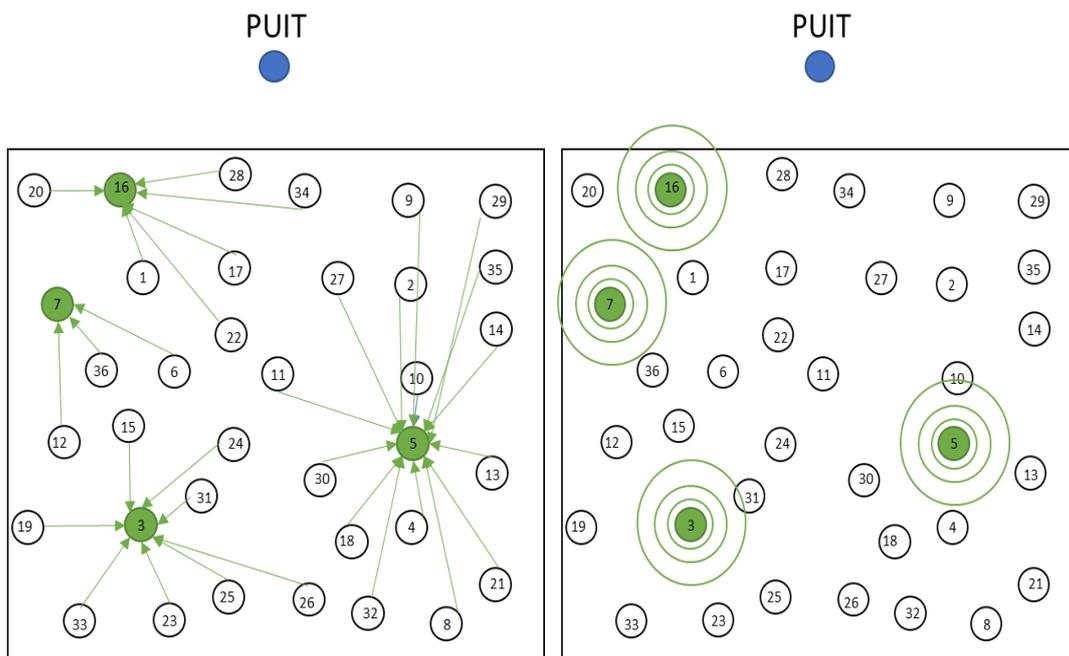


Figure II.10: Phase organisation protocole LEACH.

• **Phase d'ordonnement**

Après la formation des groupes, chaque CH agit comme un centre de commande local pour coordonner les transmissions des données au sein de son groupe. Il crée un ordonnanceur TDMA (*Time Division Multiple Access*) et assigne à chaque nœud membre un slot de temps durant lequel il peut transmettre ses données. L'ensemble des slots assignés aux nœuds d'un groupe est appelé frame. La durée de chaque frame diffère selon le nombre de membres du groupe. Par ailleurs, afin de minimiser les interférences entre les transmissions dans des groupes adjacents, chaque CH choisit aléatoirement un code dans une liste de codes de propagation CDMA (*Code Division Multiple Access*). Il le transmet par la suite à ses membres afin de l'utiliser pour leurs transmissions [15].

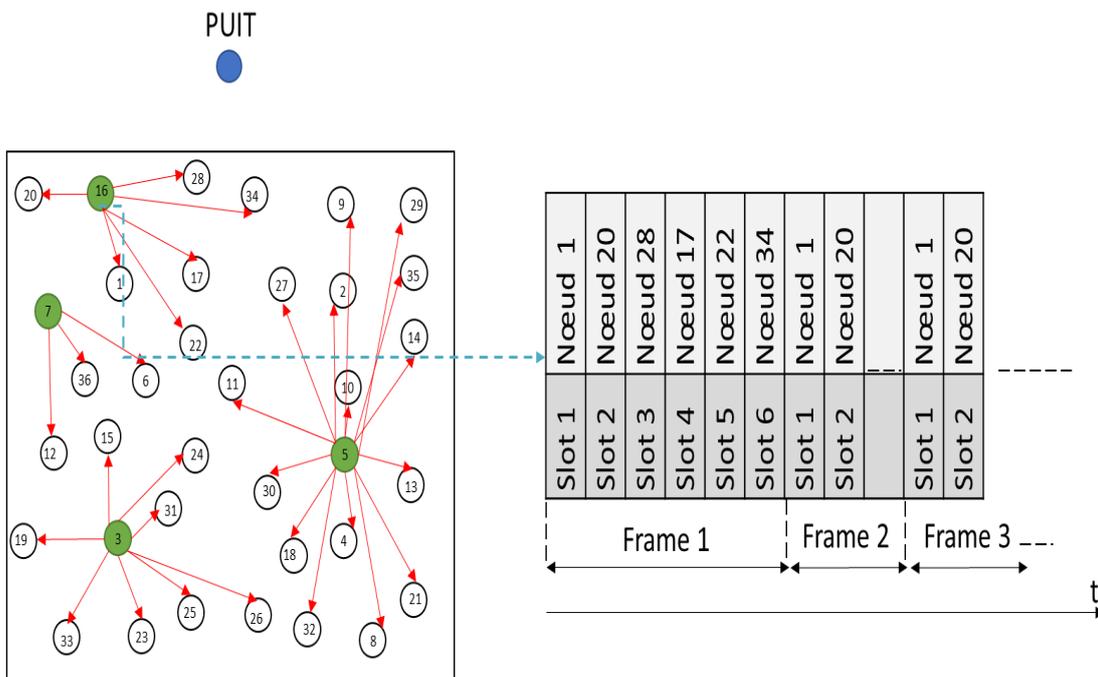


Figure II. 11: Phase ordonnancement avec TDMA protocole LEACH.

II.4.2.1 Phase de transmission

Dans cette deuxième phase, le transfert de données vers la BS aura lieu. En utilisant l'ordonnanceur TDMA, les membres émettent leurs données captées pendant leurs propres slots. Cela leur permet d'éteindre leurs interfaces de communication en dehors de leurs slots afin d'économiser leur énergie. Ces données sont ensuite agrégées par les CH qui les fusionnent et les compressent, et envoient le résultat final au puit.

Après un certain temps prédéterminé, le réseau va passer à un nouveau round. Ce processus est répété jusqu'à ce que tous les nœuds du réseau seront élus CH, une seule fois, tout au long des rounds précédents. Dans ce cas, le round est réinitialisé à 0.

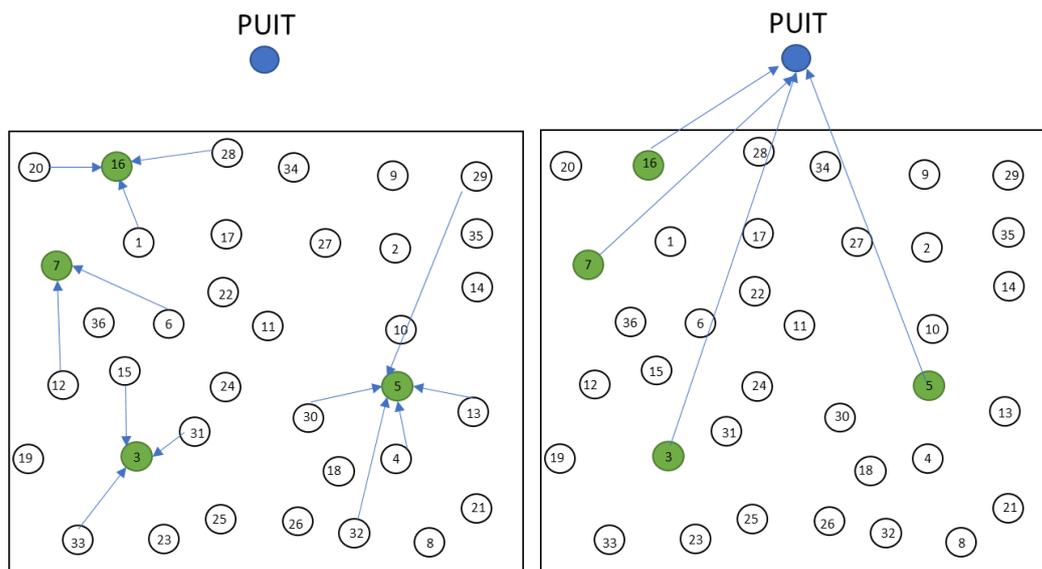


Figure II. 12: Phase transmission protocole LEACH.

II.4.3 Protocole de routage EAMMH

EAMMH est un protocole de routage hiérarchique intra-groupe, multi-sauts et économe en énergie, où le niveau de hiérarchie dépend de la taille du réseau [30].

II.4.3.1 Fonctionnement de EAMMH

L'approche EAMMH est divisée en rounds. Chaque tour commence par la phase de mise en place où les clusters sont organisés. La phase de stabilité : les informations sont acheminées vers la station de base [30].

II.4.3.1.1 Phase de mise en place

La découverte des nœuds voisins à lieu juste après le déploiement des nœuds, les nœuds adjacents sont découverts et un cluster est créé après la sélection du CH par les nœuds pour le tour actuel. Le nombre choisi aléatoirement par les nœuds ,peut être CH si ce nombre est inférieur à $P_i(n)$,qui peut-être trouver par l'équation (II. 3).

II.4.3.1.2 Phase de stabilité (Phase de transmission des données)

CH collecte et traite les données de plusieurs nœuds à l'aide de l'algorithme DR (*Distributed Randomized*) et envoie les données dans différents créneaux horaires à la station de base [31].

L'équation heuristique décrit le meilleur chemin pour le routage qui est donné par :

$$h = k(E_{av}/(h_{min} * t)) \quad (\text{II. 4})$$

Où

k : Une constante,

E_{av} : L'énergie moyenne du chemin actuel.

h_{min} : Le nombre minimum de sauts dans le chemin actuel.

t : Trafic dans le chemin.

Le chemin de valeur de fonction heuristique le plus élevé est choisi. Lorsque l'énergie minimale de ce chemin est supérieure à un seuil, ce chemin sera choisi comme le meilleur chemin de routage. Sinon, le chemin de valeur heuristique le plus élevé suivant sera choisi l'énergie minimale est calculée à l'aide de l'équation ci-dessous :

$$E_{min} = E_{av}/constant \quad (\text{II. 5})$$

Si l'énergie minimale E_{min} d'un nœud capteur n'est pas supérieure à la valeur seuil, le nœud avec l' E_{min} le plus élevé sera sélectionné.

La figure II. 13 représente organigramme de EAMMH

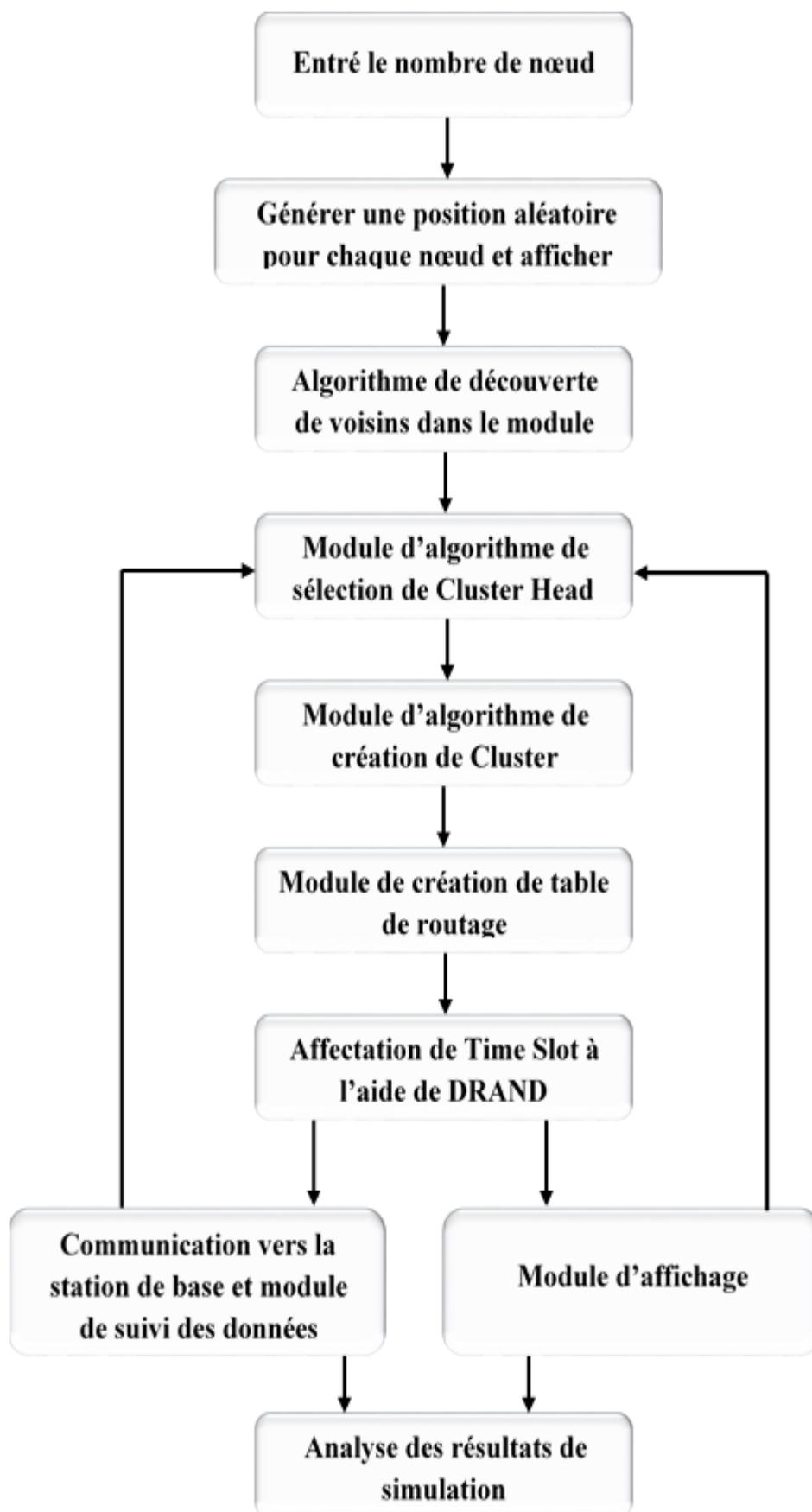


Figure II. 13 : Organigramme de EAMMH

II.4.4 Protocole de routage SEP

Le protocole SEP [32] est conçu pour un réseau hétérogène à deux niveaux.

Sur la base des énergies initiales des nœuds de capteurs et une probabilité pondérée est attribuée à chaque nœud.

La probabilité pondérée est attribuée à chaque nœud, puisque les nœuds avancés ont une énergie initiale plus élevée, l'information du cluster est réduite pour les nœuds avancés, c'est-à-dire que les nœuds avancés ont de meilleures chances de devenir une tête de cluster. Par conséquent, le processus de formation des clusters est considérablement amélioré.

Les formules requises sont les suivantes :

$$P_{nrm} = \frac{p}{1+\alpha m} \quad (\text{II. 6})$$

$$P_{adv} = \frac{p*(1+\alpha)}{1+\alpha m} \quad (\text{II. 7})$$

Le seuil pour les nœuds avance et les nœuds avancés calculés :

$$P_i(S_{nrm}) = \begin{cases} \frac{P_{nrm}}{1-P_{nrm}*(r \bmod \frac{1}{P_{nrm}})} & S_{nrm} \in N \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{II. 8})$$

$$P_i(S_{adv}) = \begin{cases} \frac{P_{adv}}{1-P_{adv}*(r \bmod \frac{1}{P_{adv}})} & S_{nrm} \in A \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{II. 9})$$

N et A sont les ensembles de nœuds avance et avancés respectivement.

P_{nrm} = Probabilité de devenir un nœud normal.

P_{adv} = Probabilité de devenir des nœuds avancés.

m = Fraction du nombre total de nœuds.

n = Nombre total de nœuds.

α = Facteur énergétique.

$P_i(S_{nrm})$ = Probabilité de seuil des nœuds normaux.

$P_i(S_{adv})$ = Probabilité de seuil des nœuds avancés.

La figure II. 14 représente organigramme de SEP

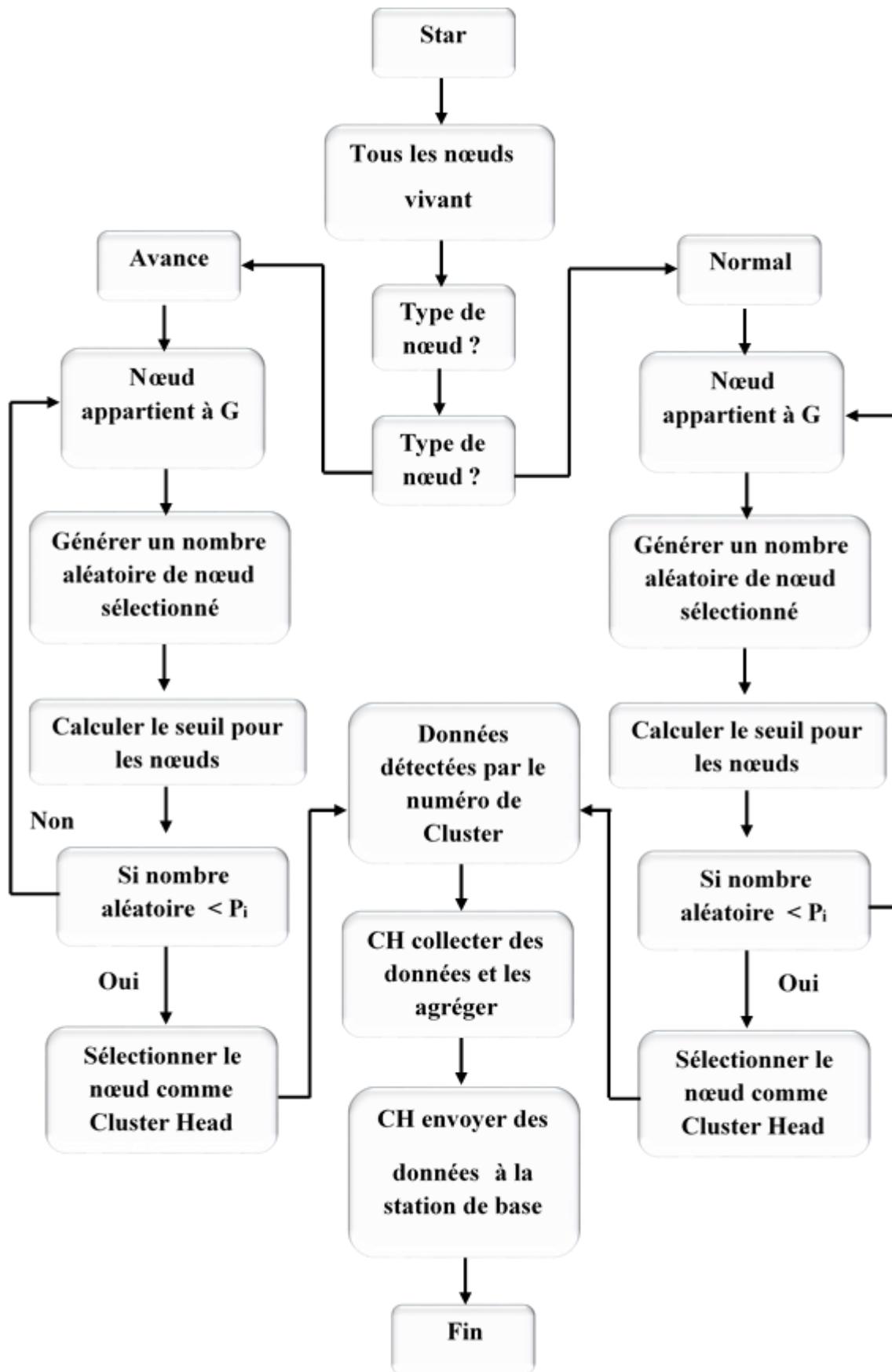


Figure II. 14 : Organigramme de SEP

II.4.5 Protocole de routage E-SEP

Le protocole E-SEP [33] est une amélioration du protocole SEP avec une hiérarchie à deux niveaux.

E-SEP considère trois différents niveaux d'énergie initiale des nœuds. Les nœuds avancés ont deux fois l'énergie initiale de celle des nœuds normaux tandis que les nœuds intermédiaires ont 1,5 fois l'énergie initiale. Avec l'augmentation des différents niveaux d'énergie au sein des nœuds il y a une amélioration de la durée de vie du réseau et une amélioration importante du débit. Le mécanisme de base du clustering est le même que celui du SEP mais les chances de chaque catégorie de nœud d'être choisi comme tête de cluster sont différentes.

Les nœuds d'être choisi comme tête de cluster est différente, qui peut être calculé comme suit :

$$P_{nrm} = \frac{p}{(1+\alpha m+i*l)} \quad (\text{II. 10})$$

$$P_{adv} = \frac{p*(1+\alpha)}{1+\alpha m+i*l} \quad (\text{II. 11})$$

$$P_{int} = \frac{p*(1+i)}{1+\alpha m+i*l} \quad (\text{II. 12})$$

P_{nrm} = Probabilité de devenir un nœud normal.

P_{adv} = Probabilité de devenir des nœuds avancés.

P_{int} = Probabilité de devenir des nœuds intermédiaires.

α = Énergie initiale.

i = Les nœuds intermédiaires.

m = La fraction de nœuds avancé.

l = La fraction de nœuds intermédiaires dans le réseau.

II.5 Conclusion

La technologie des réseaux de capteurs reste très prometteuse et leurs défis majeurs est de trouver des protocoles de routage qui permettent, à la fois de consommer le moins d'énergie possible, assurer la connectivité du réseau et la couverture du champ surveillé, assurer une livraison fiable et rapide, tolérance aux pannes et une meilleure adaptation aux changements de la topologie.

Dans ce chapitre nous avons résumé les différentes classifications des protocoles de routage dans les RCSF et présenté une classification des approches suivant plusieurs catégories: selon la structure, selon le mode de fonctionnement etc.

Ainsi que chaque protocole doit affronter de multiples défis et fournir des caractéristiques répondant au besoin du réseau. Les protocoles que nous avons utilisés dans notre étude comparative ont été présentés aussi dans ce chapitre.

Chapitre III: Résultats de Simulation

III.1 Introduction :

Le Prolongement de la durée de vie des réseaux de capteurs sans fil est devenu un véritable défi car le capteur est équipé d'une batterie à énergie limitée. De plus, leur réinstallation est impossible lorsque le capteur est déployé dans un environnement hostile ou inaccessible. Par conséquent, le cycle de vie du réseau dépend de Leur autonomie. En d'autres termes, il est étroitement lié à la façon de consommation de l'énergie. C'est pourquoi les accords d'économie d'énergie aujourd'hui occupent un axe de recherche important dans ce domaine.

Dans ce chapitre, nous allons présenter et analyser les résultats de la simulation et Les expériences obtenues lors de la mise en œuvre de quatre protocoles de routage : EAMMH, LEACH, SEP et E-SEP qui sont basés sur la méthode de clustering.

Dans notre travail Nous comparerons les performances de ces protocoles de routage. Nous discuterons d'abord le choix du simulateur qui sera utilisé, puis nous discutons du modèle énergétique utilisé pour la simulation du protocole avant de continuer l'explication des résultats obtenus.

III.2 Présentation du Matlab

Après l'étude du réseau de capteur sans fil, nous avons choisi d'utiliser le logiciel Matlab pour simuler notre protocole. Parce que la plupart des environnements sont très compliquées, le temps nécessaire pour traiter ces simulateurs est plus long que l'utilisation d'un logiciel de programmation adapté à nos besoins.

MATLAB [34] est un environnement de programmation et de calcul numérique développé par la société The Math Works utilisé par des millions d'ingénieurs et de scientifiques pour analyser des données, développer des algorithmes et créer des modèles. MATLAB fournit des boîtes à outils développées par des professionnels pour le traitement du signal et des images, les systèmes de contrôle, les communications sans fil, la finance informatique, la robotique, l'apprentissage en profondeur, etc.

MATLAB nous permet de trouver un seul endroit pour l'implémentation et l'évaluation d'un modèle. La simulation d'un protocole nécessite l'utilisation et la manipulation de vecteurs, de tableaux et de matrices. D'autre part, l'évaluation des performances doit générer des statistiques qui seront analyser par MATLAB ou d'autre logiciel.

III.3 Simulation

Nous avons comparé les protocoles de routages dans Les RCSF suivants : LEACH, EAMMH, SEP et E-SEP. Nous avons choisi d'utiliser le logiciel Matlab afin d'implanter et simuler le comportement

de ces protocoles de routages. Nous avons comparé ces protocoles suivants les métriques de test suivants :

- Nombre de nœuds morts avec variation du nombre de tour : cette métrique nous permet de trouver le nombre de nœuds morts (qui n'ont pas d'énergie) dans chaque tour de simulation.
- Énergie moyenne de chaque nœud avec la variation du nombre de tour : l'énergie résiduelle dans les nœuds de RCSF est représentée par cette métrique suivant chaque tour de simulation.
- Nombre de paquets transmis à station base avec la variation du nombre de tour : nous avons estimé le nombre de paquets envoyés entre les nœuds dans le RCSF vers le puits (station de base).
- Nombre de paquet transmis aux chefs de groupe avec la variation du nombre de tour : afin d'envoyer les paquets de données vers la station de base il faut passer par les chefs de groupe (cluster). Cette métrique représente le nombre de paquets échangés entre les nœuds et leur chef de groupe pour chaque tour de simulation.

III.3.1 Model énergétique

Dans notre travail, nous mettons en œuvre un modèle énergétique qui couvre à la fois, les communications en émission et en réception. C'est un modèle radio utilisé lors de la simulation des protocoles LEACH, EAMMH, SEP et E-SEP [15]. Ainsi :

$$E_{TX}(L, d) = \begin{cases} L * E_{elec}(L, d) + L * \epsilon_{fs} * d^2 . & d < d_0 \\ L * E_{elec}(L, d) + L * \epsilon_{mp} * d^4 . & d \geq d_0 \end{cases} \quad (III. 1)$$

Et pour recevoir un message l'énergie consommé par le récepteur est :

$$E_{Rx}(L) = L * E_{elec} \quad (III. 2)$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (III. 3)$$

Où :

E_{elec} : Correspond à l'énergie de transmission/réception électronique.

L : C'est la taille du message (paquet).

d : Indique la distance entre l'émetteur et le récepteur.

ϵ_{fs} : Facteur de l'amplification correspond au modèle « free space channel ».

ϵ_{mp} : Facteur de l'amplification correspond au modèle « multi path fading channel ».

d_0 : C'est la distance limite pour laquelle les facteurs de transmission changent de valeur.

La figure suivante représente le modèle de dissipation d'énergie que nous avons utilisé. Ce modèle est représenté par l'équation (III. 1) et (III. 2).

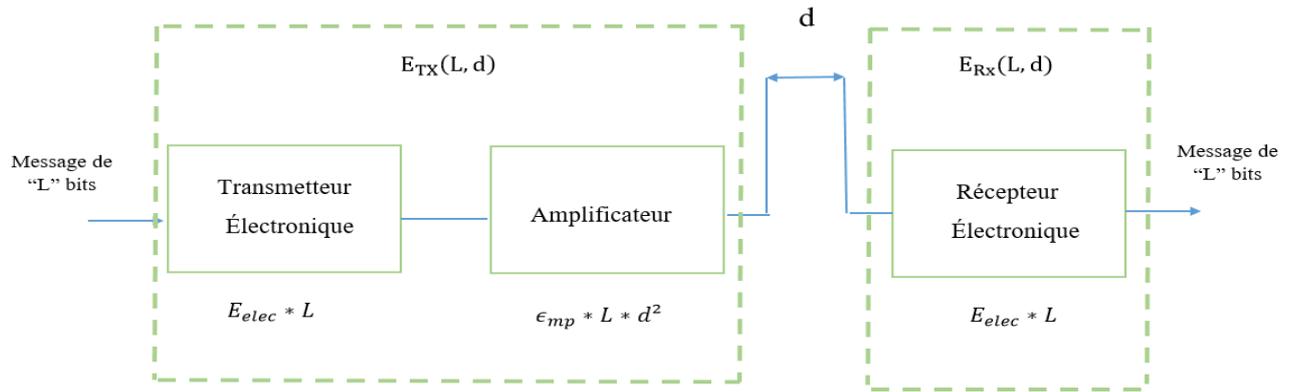


Figure III. 1: Modèle de consommation d'énergie.

III.3.2 Paramètres de simulation

Avant de lancer les simulations, nous devons ajuster certains paramètres qui sont présentés dans le tableau III.1 en plaçant 200 nœuds, déployés aléatoirement dans une zone de 100 m^2 , station de base est fixe. Le déploiement des nœuds a été effectué à base des nombres aléatoires suivant une distribution marginale uniforme. Les nœuds capteurs dotés d'une quantité d'énergie initiale 0.1 J , la taille d'un paquet est fixée à 4000 bits . Les nœuds transmettent les données par la consommation d'une quantité d'énergie supplémentaire. Avant d'envoyer les données par le Cluster Head, il effectue une opération d'agrégation de données suivant la formule de consommation d'énergie $E_{DA} = 5 \text{ nJ/bit}$. Pour transmettre un message de taille L l'énergie de transmission/réception électronique consommé $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$. La valeur de consommation d'énergie pour l'amplificateur est $\epsilon_{mp} = 0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$. Le nombre de tour de notre simulation est 500 .

Paramètre	Value
Zone de détection	100 m^2
Nombre de nœuds capteurs	200
Taille des paquets	4000 bits
Énergie pour 1 bit d'agrégation de donné E_{DA}	5 nJ/bit
La dissipation d'énergie pour transmettre ou recevoir 1 bit de données E_{elec}	50 nJ/bit
Le coefficient de dissipation d'énergie dans l'espace libre (transmission coefficient amplifier)	10 pJ/bit/ m^2
Le coefficient de dissipation d'énergie dans le modèle d'atténuation multi-trajets (transmission coefficient amplifier)	$0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$
Énergie initiale des nœuds capteurs E_0	0.1 J

Tableau III. 1: paramètre de simulation

III.3.3 Résultats

La figure III.2 représente le nombre des nœuds morts en fonctions de nombre des tours. Premièrement a l'état initial aucun nœud morte jusqu'à la 27 ronds. Où on constate que le protocole EAMMH commence de perdre les nœuds capteurs. Ensuite le protocole LEACH perd son premier nœud à 101 tour et SEP à 103 tour. Le dernier protocole E-SEP commence à perdre ces nœuds capteurs à 119 tour. Suivant ce résultat il est évident de constater que le protocole E-SEP est plus robuste que le reste des protocoles. La durée de vie du RCSF avec le protocole de routage E-SEP est plus importante que les autres protocoles.

Le tableau suivant représente le nombre des nœuds morts en fonction de nombre des ronds pour les quatre protocoles.

Protocoles Nb des ronds	EAMMH Nb de nœud mort %de nœud totale	SEP Nb de nœud mort %de nœud totale	LEACH Nb de nœud mort %de nœud totale	E-SEP Nb de nœud mort %de nœud totale
0-10	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
10-100	100(50%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
100-130	180(90%)	40(20%)	40(20%)	0(0%)
130-240	200(100%)	160(80%)	160(80%)	140(70%)
240-295	200(100%)	200(100%)	200(100%)	185(92.5%)
295-325	200(100%)	200(100%)	200(100%)	200(100%)

Tableau III. 2: Comparaison entre Nb des nœuds morts des protocoles par rapport nombre de rond.

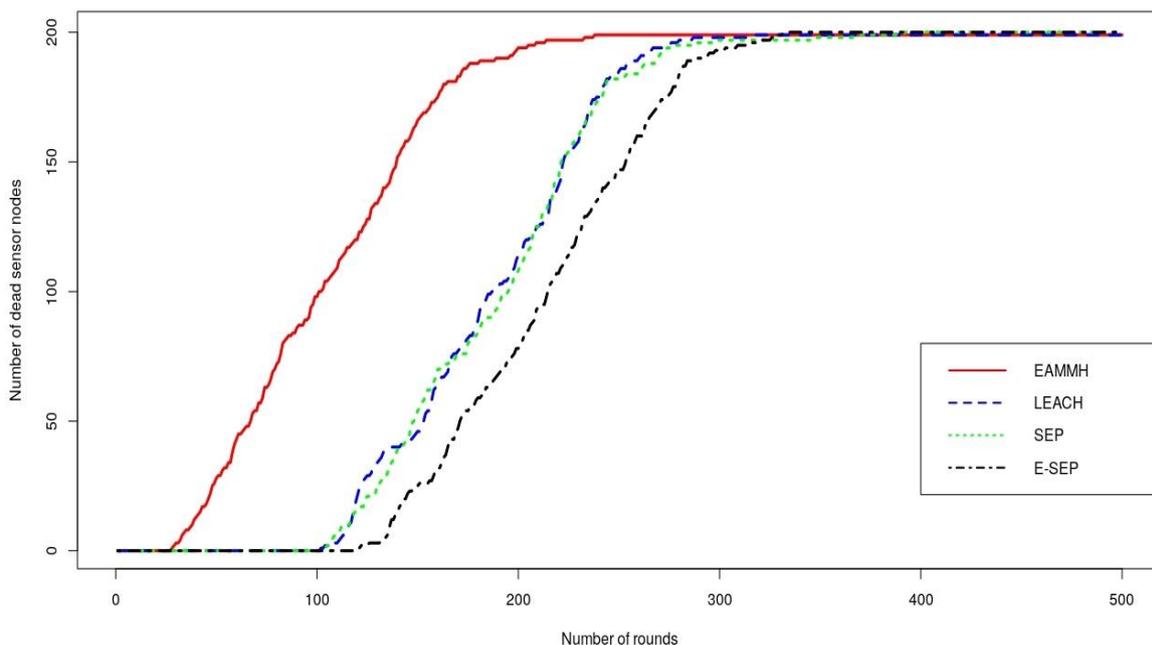
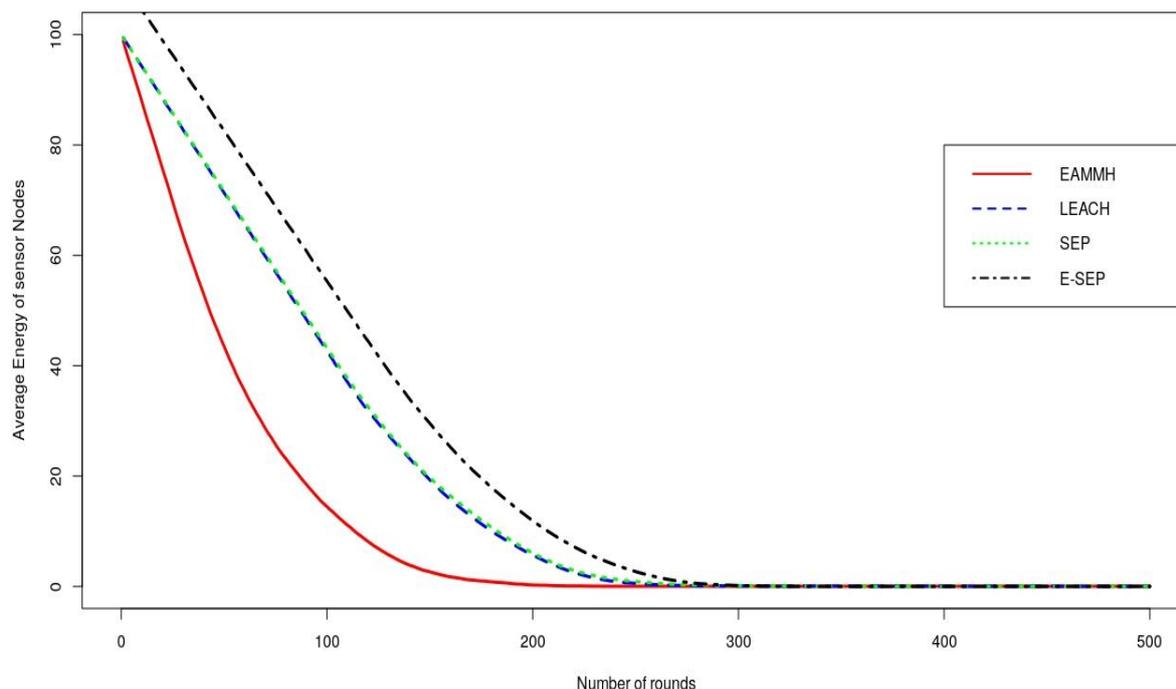


Figure III. 2: Nombre des nœuds morts

La figure III.3 montre la variation de l'énergie résiduelle des nœuds en fonction des tours de simulation. On remarque que la diminution d'énergie est rapide dans le protocole EAMMH et cela est due à la diminution du nombre de nœuds en état de fonctionne, ainsi, la diminution d'énergie dans les protocoles LEACH et SEP est plus lente que l'EAMMH. Tandis que dans le protocole E-SEP la diminution d'énergie est la plus lente que tous les autres protocoles. Finalement on conclut que le pourcentage d'énergie est directement proportionnel à la diminution du nombre de nœud.



III. 3: Énergie moyenne des nœuds capteur

La figure III.4 nombre de paquet envoyer Cluster Head en fonction des nombres des tours de simulation.

- Le protocole EAMMH envoie les paquets jusqu'au tour 175, après le tour 200 le réseau est devenu inutile parce que tous les nœuds sont morts. Le nombre de paquets envoyés vers le Cluster Head commence à partir 150 paquets et diminue au fur et à mesure.
- Le protocole LEACH envoie les paquets jusqu'au tour 250, après le tour 280 le réseau est devenu inutile parce que tous les nœuds sont morts. Le nombre de paquet envoyés vers le Cluster Head commence à partir 150 paquets.
- Le protocole SEP transmet les paquets jusqu'au tour 260, ensuite on remarque que le réseau est devenu inutile après le tour 290, parce que tous les nœuds sont morts. Le nombre de paquet envoyer vers le Cluster Head commence à partir de 150 paquets.
- Le protocole E-SEP envoie les paquets jusqu'au tour 300. Une fois le nombre de tour de simulation est 320 le réseau est devenu inutile car tous les nœuds sont morts. Le nombre de paquet envoyés vers le Cluster Head commence à partir 150 paquets jusqu'à 165 paquets.

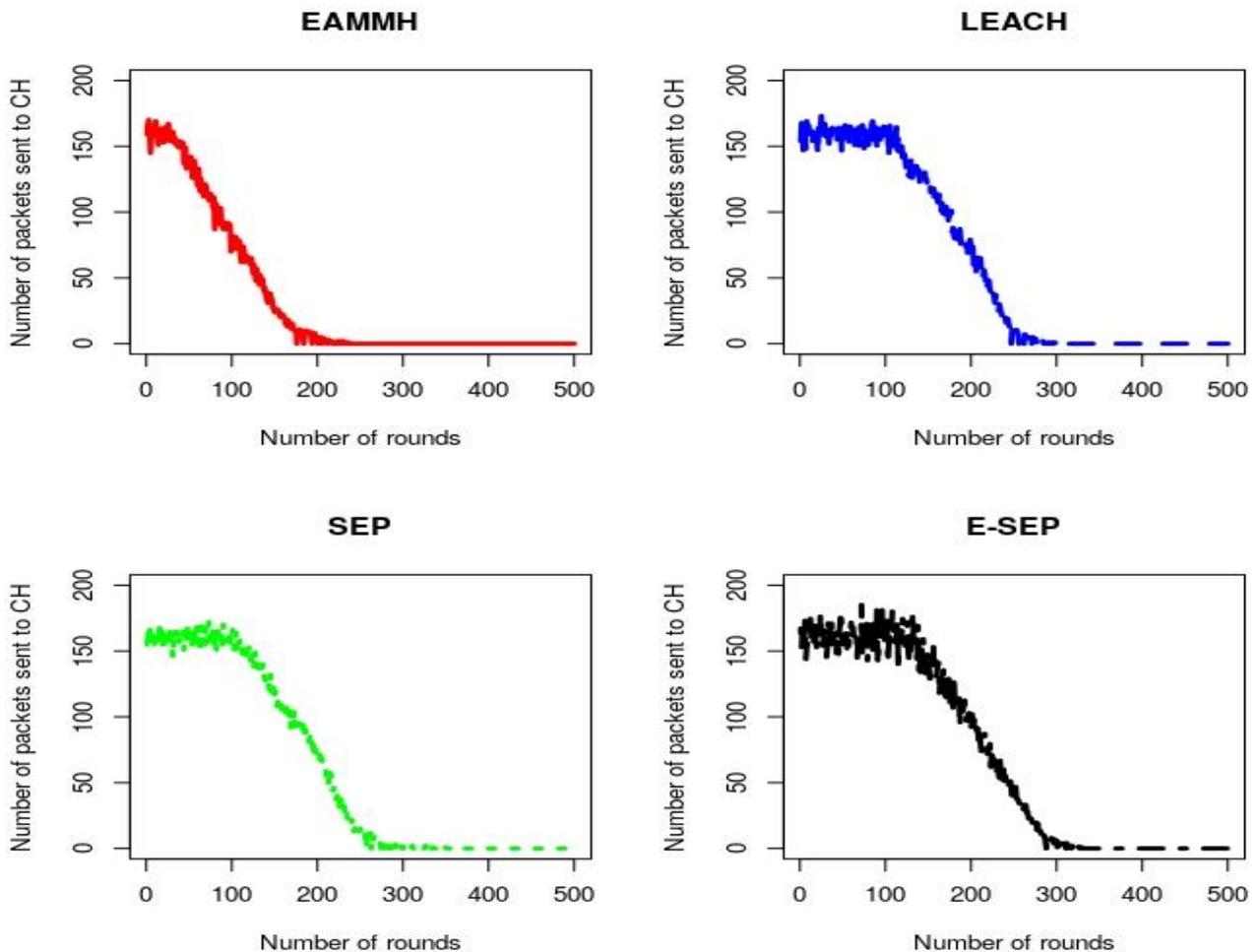


Figure III. 4: Nombre de paquet envoyer Cluster Head.

La figure III.5 représente le nombre de paquet transmit entre les chefs de groupe vers la station de base. Comme nous avons mentionné les données sont envoyées entre les nœuds capteurs vers la station de base à travers les chefs de groupe. Nous remarquons que :

- Le protocole EAMMH envoie les paquets jusqu'à tour 175, après le tour 200 le réseau est devenu inutile parce que tous les nœuds sont morts. Le nombre de paquet envoyés vers la station de base est autours les 40 paquets au début de la simulation.
- Le protocole LEACH transmet les paquets jusqu'à tour 260, ensuite la station de base ne reçoit pas des données parce que tous les nœuds sont morts après le tour 300.
- Les nœuds de la topologie transmettent les données vers la station de base à travers les chefs de troupe avec le protocole SEP jusqu'à tour 260. Le réseau est devenu inutile après le tour 300.
- Le protocole E-SEP envoie les paquets jusqu'à tour 300, après le tour 310 le réseau est devenu inutile parce que tous les nœuds sont morts. Le nombre de paquet envoyés vers la station de base commence à partir 40 jusqu'à 65 paquets.

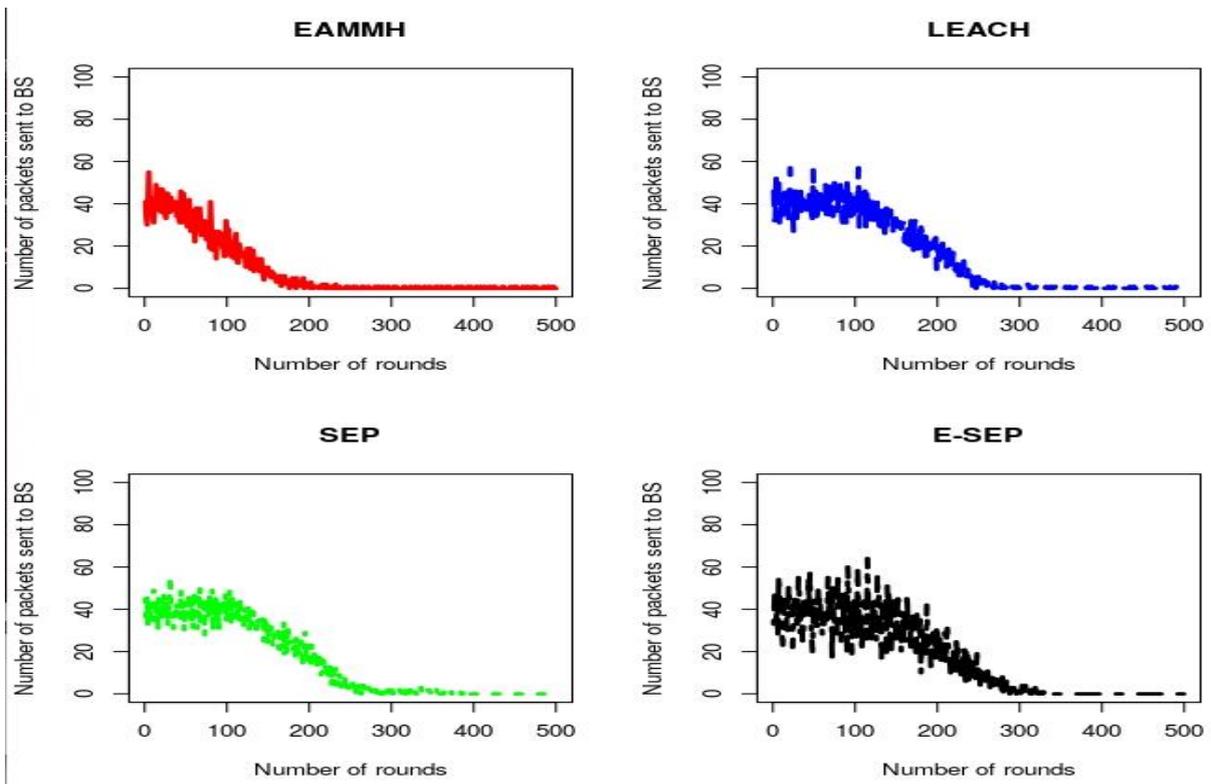


Figure III. 5: Nombre de paquet envoyer à station de base.

La figure III.6 montre le trafic entre les nœuds de la topologie et leurs chefs de groupes pour chaque protocole. Ce résultat confirme les précédents résultats. Où nous constatons que le protocole E-SEP est plus efficace que LEACH, SEP et EAMMH.

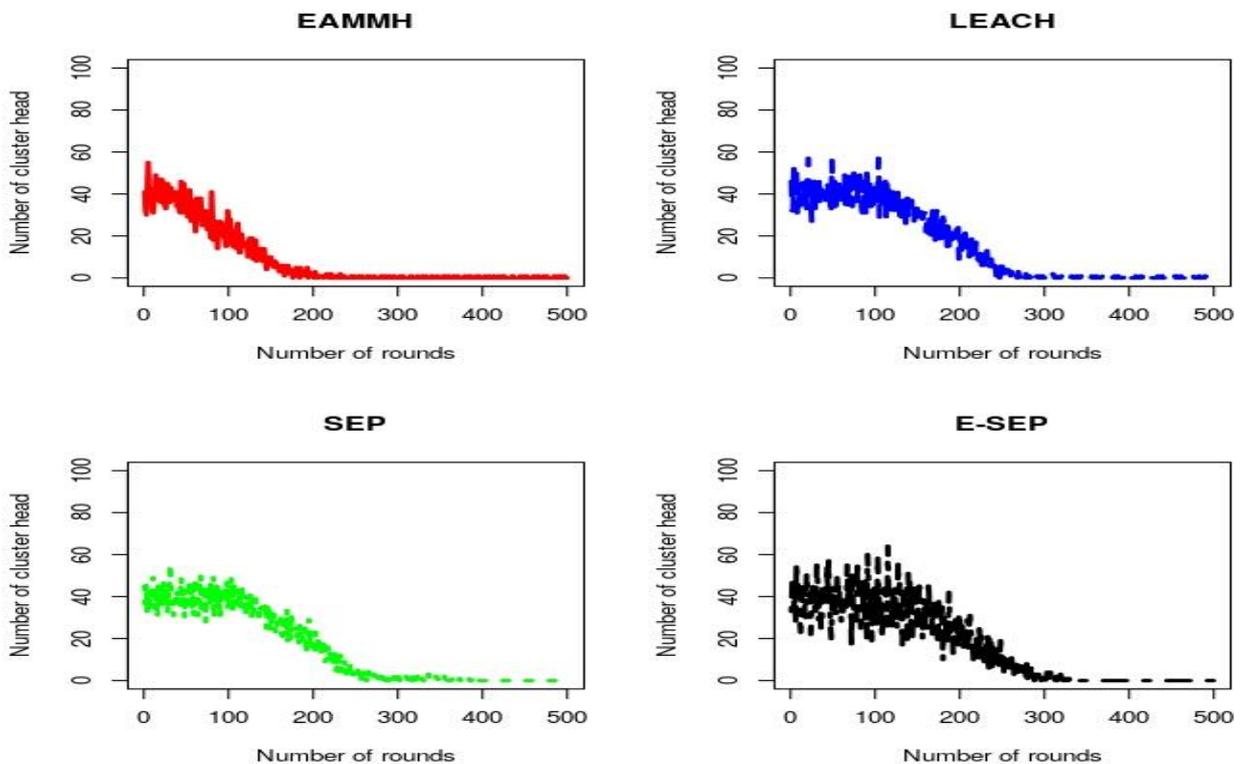


Figure III. 6 : Nombre de chef de zone.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre évaluation de performances pour certain protocole de routages dans les RCSF. Nous avons présenté premièrement le logiciel MATLAB que nous avons utilisé pour l'implémentation des protocoles de routages et la simulation de leurs comportements. Ensuite, nous avons illustré le modèle énergétique que nous avons exploité afin de représenter la consommation d'énergie par les nœuds capteurs. Les métriques de test que nous avons sélectionné sont la durée de vie, la consommation d'énergie, nombre de chefs de groupe et le trafic vers la station de base et les chefs de groupe. L'évaluation de performance a été effectuée entre les protocoles LEACH, EAMMH, SEP et E-SEP. Les résultats de la simulation prouvent que le protocole E-SEP est capable de prolonger la durée de vie du réseau et d'améliorer l'efficacité énergétique.

Conclusion Générale

Les RCSF sont aujourd'hui très utilisés dans différents domaines. La tâche de routage est très essentielle dans les RCSF. De nombreux protocoles ont été proposés ces dernières années. Les protocoles les plus efficaces sont basés sur clustering, et le plus connu est le protocole LEACH.

Dans notre étude, nous avons présenté les RCSF d'une manière générale dans le premier chapitre. Nous avons commencé notre chapitre par la présentation de l'architecture d'un capteur. Ensuite nous avons défini un RCSF et montré son architecture avec ses caractéristiques. La consommation de l'énergie et son effet a été présenté dans ce chapitre aussi. Nous avons terminé notre chapitre avec les domaines d'applications des RCSF.

Dans le deuxième chapitre nous avons illustré le phénomène de routage dans un RCSF. Les classifications des protocoles de routage ont été illustrées dans ce chapitre aussi. Ensuite, nous avons illustré quelques protocoles de routage dans les RCSF. Nous avons choisi d'étudier les protocoles hiérarchiques.

Nous avons comparé les protocoles LEACH, EAMMH, SEP et E-SEP. Sur la base des deux métriques les plus importantes que sont la durée de vie du réseau et l'énergie résiduelle, nous pourrions dire que E-SEP fonctionne très bien que LEACH, EAMMH et SEP.

Référence

- [1] Bouallegue, Mehdi. Protocoles de communication et optimisation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. Diss. Université du Maine, 2016.
- [2] Yacine, Younes. Minimisation d'énergie dans un réseau de capteurs. Diss. Tizi Ouzou, 2012.
- [3] Levis, Philip, and David Gay. TinyOS programming. Cambridge University Press, 2009.
- [4] A. Belfkih, B.Sadeg, C.Duvallet, L. Amanton .Bases de données dans les réseaux de capteurs sans fil.Technique et Sciences Informatique TSI.Volume33– no9-10.Université du Havre.FRANCE.2014
- [5] Tyagi, Ms Parul, and Ms Surbhi Jain. Comparative study of routing protocols in wireless sensor network. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering 2.9 (2012).
- [6] Lydia, Mokdes, and Louni Meriem. Amélioration de l'algorithme de routage hiérarchique LEACH. Diss. Université Mouloud Mammeri, 2014.
- [7] Badet, M., and W. Bonneau. Mise en place d'une plateforme de test et d'expérimentation. Mémoire de Master (2006).
- [8] Rahma, Laouari, and Besline Nassima. Routage hiérarchique dans les RCSF (Comparaison entre variantes de LEACH). Diss. Université Mouloud Mammeri, 2013.
- [9] Boudries, Abdelmalek. Maintien de la Connectivité dans les Réseaux Ad hoc sans fil. Diss. 2018.
- [10] Kacimi, Rahim. Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil. Diss. 2009.
- [11] BOUSSAG, Loubna. Implementation and Simulation of Security Protocols for Wireless Sensor Networks (WSNs). Diss. FACULTY: mathematics and informatics DEPARTEMENT of computer science-UNIVERSITY MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2017.
- [12] F. benhamida. Tolerance aux pannes dans les reseaux de capteurs sans fil. École Doctorale Ingénierie des Systèmes Informatiques oued-smar. Alger .2009.
- [13] Maarouf, Samia, and Souhila Ouadah. Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil. Mémoire de Master, Université de Tlemcen (2014).
- [14] Akyildiz, Ian F., et al. A survey on sensor networks. IEEE Communications magazine 40.8 (2002): 102-114.
- [15] Heinzelman, Wendi B., Anantha P. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks." IEEE Transactions on wireless communications 1.4 (2002): 660-670
- [16] Farida, Berziga. Etude comparative de protocoles de routage dans les RCSFs. Diss. Université Mouloud Mammeri, 2013.

- [17] Lehsaini, Mohamed. Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les réseaux de capteurs: application à la domotique. Diss. Besançon, 2009.
- [18] Noury, Norbert, et al. Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors. 1st Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology. Proceedings (Cat. No. 00EX451). IEEE, 2000.
- [19] Ghebbi, Sofiane, and Abdallah Akilal. Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs sans fil. Diss. Université A/Mira de Bejaia, 2016.
- [20] ZIANE KHODJA Lilia. La structuration et la sécurisation des réseaux de Capteurs. Master 2 Recherche Informatique. IFSIC 2001.
- [21] BOUGUER safia. Étude et simulation comparative entre les réseaux de capteurs sans fil traditionnels et les réseaux de capteurs véhiculaire. D'ingénieur d'état en télécommunication. Université Abou Bekr Belkaid. Telemcen. Algerie. 2012.
- [22] Abdelhalim, B. E. N. A. D. L. A., and B. E. L. O. U. A. T. E. K. Mohammed. "Thème."
- [23] Niculescu, Dragos. "Communication paradigms for sensor networks." IEEE Communications Magazine 43.3 (2005): 116-122.
- [24] Challal, Yacine. Réseaux de capteurs sans fils. Cours, Systèmes Intelligents pour le Transport, Université de Technologie de Compiègne, France 17 (2008).
- [25] Khelladi, Lyes, and Nadjib Badache. Improving directed diffusion with power-aware topology control for adaptation to high density. LOCALGOS '08 workshop, in conjunction with The 4th IEEE/ACM International Conference on Distributed Computing In Sensor System, Greece. 2008.
- [26] Xu, Ya, John Heidemann, and Deborah Estrin. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing. Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking. 2001.
- [27] LAHMA, KARIM. Évaluation de la crédibilité de l'information d'une chaîne de nœuds de capteurs: RCSF. Revue Méditerranéenne des Télécommunications 8.2 (2018).
- [28] Yang, Cheng-Lung, et al. A security mechanism for clustered wireless sensor networks based on elliptic curve cryptography. IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (IEEE SMC). 2010.
- [29] Boubiche, Djallel Eddine. Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil. Diss. Batna, Université El Hadj Lakhdar. Faculté des sciences de l'ingénieur, 2008.
- [30] Lee, Giljae, et al. "A base station centralized simple clustering protocol for sensor networks." International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.

- [31] Farooq, Muhammad Yasir, et al. "Analysis of the Lifetime and Energy Consumption of WSN Routing Protocols: LEACH, EAMMH and SEP." International Conference on Intelligent Technologies and Applications. Springer, Singapore, 2019.
- [32] Smaragdakis, Georgios, Ibrahim Matta, and Azer Bestavros. "SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks." Second international workshop on sensor and actor network protocols and applications (SANPA 2004). Vol. 3. 2004.
- [33] Islam, M. M., M. A. Matin, and T. K. Mondol. "Extended Stable Election Protocol (SEP) for three-level hierarchical clustered heterogeneous WSN." (2012): 43-43.
- [34] <https://fr.mathworks.com/products/matlab.html>. Consulté le : 05-10-2021.

ملخص

يمكن استخدام الشبكات اللاسلكية لأغراض عديدة. من بينها نجد شبكة الاستشعار اللاسلكية (RCSF) يمكن النظر إلى وحدة التحكم في الطبيعة على أنها مجموعة من أجهزة الاستشعار المنتشرة في منطقة التقاط من أجل تتبع القيم الفيزيائية مثل درجة الحرارة والرطوبة والضغط وما إلى ذلك. بشكل عام، تعمل أجهزة الاستشعار ببطاريات لا يمكن استبدالها ذات قدرة محدودة. ويرتبط RCSF كامل لمستوى الطاقة من أجهزة الاستشعار. هذه الخاصية تجعل الطاقة موردا حاسما يجب الحفاظ عليها من أجل إطالة عمر RCSF. وقد اقترح العديد من بروتوكولات التوجيه لضمان نقل البيانات في RCSF وإطالة عمرها. الهدف من دراستنا هو تقييم وتحليل ومقارنة بروتوكولات التوجيه المعروفة. نقارن LEACH، EAMMH، SEP، وE-SEP. تظهر نتائج المحاكاة أن بروتوكول التوجيه يمكن أن يحسن عمر RCSF.

الكلمات الرئيسية: RCSF، طاقة الاستشعار، بروتوكولات التوجيه، LEACH، SEP

Résumé

Les réseaux sans fil peuvent être utilisés à de nombreux objectifs. Parmi eux, nous trouvons le réseau de capteurs sans fil (RCSF). Un RCSF peut être vu comme un ensemble de capteurs déployés dans une zone de capture afin de suivre des valeurs physiques telles que la température, l'humidité, la pression, etc. En général, les capteurs sont alimentés par des batteries irremplaçables de capacité limitée. L'ensemble du RCSF est lié au niveau d'énergie des capteurs. Cette caractéristique fait de l'énergie une ressource critique à préserver afin de prolonger la durée de vie d'un RCSF. De nombreux protocoles de routage ont été proposés pour assurer la transmission des données dans un RCSF et prolonger sa durée de vie. L'objectif de notre étude est d'évaluer, d'analyser et de comparer des protocoles de routage très connus. Nous avons comparé LEACH, EAMMH, SEP et E-SEP. Les résultats de la simulation montrent qu'un protocole de routage peut améliorer la durée de vie d'un RCSF.

Mots clés : RCSF، énergie des capteurs، protocoles de routage، LEACH، SEP

Abstract

Wireless networks can be used for many purposes. Among them we find wireless sensor network (WSN). A WSN can be seen as a set of sensors deployed in a capture zone in order to track physical values such as temperature, humidity, pressure, etc. In generally, sensors are powered by irreplaceable batteries with limited capacity. The entire WSN is relied to the energy level in sensors. This feature makes the energy a critical resource to be preserved in order to extend the lifetime of the WSN. Many routing protocols have been proposed to ensure data transmission in WSN and extend the WSN lifetime. The aim of this paper is to evaluate, analyze and compare some very well-known routing protocols. We have compared LEACH, EAMMH, SEP and E-SEP. Simulation results show that a routing protocol can improve the lifetime of WSN.

Keys: WSN، sensor energy، routing protocol، LEACH، SEP