



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi - TEBESSA
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Mathématiques et Informatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Option: Réseaux et Sécurité Informatique

Thème

Adaptation de clustering phase de protocole de routage « LEACH » pour les réseaux de capteurs sans fil

Travail réalisé par : *Guemmadi Sabrina*

Sous la direction de : *Mme. Bouakkez Fatima*

Membre de jury composé de :

- | | | |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| • Président | Mr. Betouil Ali abdellatif | MCB, Université de Tébessa |
| • Examineur | Mr. Mahmoudi Rachid | MAA, Université de Tébessa |

Promotion 2019-2020

Résumé

Le réseau de capteurs sans fil se compose d'un grand nombre de petits nœuds de capteurs avec des ressources énergétiques limitées, ce qui constitue un réel problème pour ce réseau. Dans cette étude, nous allons modifier l'un des algorithmes de routage les plus courants pour la communication des données dans le WSN: LEACH (Hiérarchie adaptative à faible consommation d'énergie). La version modifiée de la version de base LEACH, "K-means _LEACH", prolonge la durée de vie du réseau et envoyer plus de données que le protocole d'origine. L'algorithme proposé a été simulé avec MATLAB pour vérifier l'efficacité de l'amélioration de la durée de vie de ce réseau.

Les résultats de la simulation ont confirmé que le système fonctionnait mieux de la plateforme LEACH et la vie du réseau s'est améliorée.

Les mots clés : Réseau de capteurs sans fil, LEACH, tête de cluster.

Abstract

The wireless sensor network consists of a large number of small sensor nodes with limited energy resources, which is a real problem for this network. In this study, we will modify one of the most common routing algorithms for data communication in the WSN: LEACH (Adaptive Hierarchy with Low Power Consumption). The modified version of the basic LEACH version, "K-means_LEACH", uses an intermediate cluster header to transmit data, extend the life of the network and send more data than the original protocol. The proposed algorithm was simulated with MATLAB to verify the effectiveness of improving the lifetime of this network. The results of the simulation confirmed that the system worked better From the LEACH platform and the life of the network improved.

Keywords: Wireless sensor network, LEACH, cluster header.

ملخص

تتكون شبكة المستشعرات اللاسلكية من عدد كبير من عقد الاستشعار الصغيرة ذات موارد طاقة محدودة، مما يمثل مشكلة حقيقية لهذه الشبكة. في هذه الدراسة سوف نقوم بإضافة تعديل لأحد خوارزميات التوجيه الأكثر شيوعًا في شبكة لاتصالات البيانات في WSN : التسلسل الهرمي التكنيفي مع استهلاك منخفض للطاقة (LEACH). تستخدم النسخة المعدلة من إصدار LEACH الأساسي « K-means_LEACH » لتجميع المستشعرات في مجموعات بهدف إطالة عمر الشبكة أكثر من البروتوكول الأصلي. تمت محاكاة الخوارزمية المقترحة باستخدام MATLAB للتحقق من فعالية تحسين عمر هذه الشبكة. وقد أكدت نتائج المحاكاة أن التعديلات المقترحة حسنت بشكل أفضل من النظام الأساسي وان حياة الشبكة تحسنت.

الكلمات المفتاحية: شبكة المستشعرات اللاسلكية، خوارزمية LEACH، رأس الكتلة.

Remerciements

Avant toute chose nous remercions le bon Dieu, le tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreuse **Madame Bouakkaz Fatima**, enseignante à l'université de Tebessa, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Et pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence m'a grandement stimulé.

Je désire aussi remercier les professeurs de l'université de Tebessa, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Dédicace

Je remercie **Allah** de m'avoir donné le courage pour accomplir ce modeste travail que je dédie :

Je dédie cette étape importante de ma vie à la mémoire de mes parents décédés trop tôt. J'espère qu'ils apprécieront, du monde qu'ils sont maintenant, cet humble geste comme signe de la gratitude de la fille qui a toujours prié pour le salut de leurs âmes. Puisse dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

À l'âme de ma chère copine IBTISSEM.

A toute mes familles, et mes amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

A tous ceux qui me sont chers Que dieu leur accorde santé et prospérité.

Table des matières

1 Table des matières

Table des matières	I
Liste des figures	V
Liste des Tableaux.....	V
Liste des abréviations.....	V
Introduction générale	1
Chapitre 1 Réseaux de capteurs sans fil	3
1.1 Introduction	3
1.2 Un capteur sans fil.....	3
1.2.1 Définition	3
1.2.2 Les différents composants d'un capteur.....	3
1.2.3 Pile protocolaire	5
1.2.4 Consommation d'énergie Capteur	5
1.3 Réseaux de capteurs sans fil.....	7
1.3.1 Définition	7
1.3.2 Types d'architectures des réseaux de capteurs sans fil	8
1.3.4 Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil	9
1.4 Domaines d'application RCSF :.....	10
1.5 Conclusion.....	12
Chapitre 2 Les protocoles de routage Dans les RCSFs	13
2.1Introduction	13
2.2La communication dans les RCSFs.....	13
2.3 Classification des protocoles dans les RCSFs.....	13
2.3.1 Selon la topologie du réseau.....	13
2.3.2 Selon le mode d'établissement de la route	14
2.3.3 Selon le paradigme de communication	14
2.3.4 Selon le mode de fonctionnement du protocole	15
2.4Routage hiérarchique dans les RCSFs	16
2.5Caractéristiques d'un protocole hiérarchique.....	17

2.5.1 L'algorithme de clustering utilisé.....	17
2.5.2 La réélection des CHs	17
2.5.3 La nature des clusters générés.....	18
2.5.4 La communication intra-cluster.....	18
2.5.5 La communication inter-cluster.....	18
2.5.6 Le niveau d'agrégation de données	19
2.6 Le protocole de routage Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH).....	19
2.6.1 Architecture de communication de LEACH	19
2.6.2 Principe de fonctionnement de LEACH.....	20
2.6.3 Les avantages de protocole LEACH	22
2.6.4. Les inconvénients de protocole LEACH.....	22
2.7 Les différentes versions de LEACH.....	23
2.7.1 FL-LEACH (Fuzzy Logic based LEACH) [23] :.....	23
2.7.2 MR-LEACH (Multi-hop Routing-LEACH) [24] :.....	23
2.7.3 FZ-LEACH (Far Zone-LEACH) [25] :.....	24
2.7.4 LEACH-GA (LEACH based Genetic algorithm) [26] :.....	24
2.7.5 CELL-LEACH [27] :	24
2.7.6 Q-LEACH (Quadrant Cluster based LEACH) [28] :	24
2.7.7 LEACH-L (Energy Balanced LEACH) [29] :.....	25
2.7.8 W-LEACH (Weighted-LEACH) [30] :.....	25
2.7.9 P-Leach (Prediction based Cluster-LEACH) [31] :.....	25
2.7.10 EE-LEACH (Energy Efficient-LEACH) [32] :.....	26
2.7.11 LEACH -MAC (LEACH-Medium Access Control) [33] :.....	26
2.7.12 O-LEACH (Orphan-LEACH) [34] :	26
2.7.13 RN-LEACH (Random Number based LEACH) [35] :	26
2.7.14 UHBA-LEACH (LEACH based on Unified Heuristic Bat Algorithm) [36]:	27
2.7.15 Improvement of LEACH Protocol [37] :	27
2.7.16 Efficient Energy for Cluster Head Selection using New LEACH [38] :.....	27
2.7.17 ALEACH-Plus [39] :.....	27
2.7.18 IMHT-LEACH (Improved Multi Hop Technique LEACH) [40] :	28
2.7.19 Energy-Efficient Scalable Routing Algorithm (EESRA) [41] :.....	28
2.7.20 BRE-LEACH (Balanced Residual Energy-LEACH) [42] :.....	28
2.7.21 LEACH-TLC (Target Location Constraint LEACH) [43] :.....	28
2.7.22 Efficient Modified-LEACH [44] :.....	29

2.7.23 EA-LEACH (Energy Aware LEACH) [45]:	29
2.7.24 Leach-D (LEACH Dynamic protocol) [46] :	29
2.8 Synthèses des protocoles successeurs de LEACH	30
2.9 Conclusion.....	35
Chapitre 3 Adaptation de Clustering.....	36
3.1 Introduction	36
3.2 Protocole proposé.....	36
3.2.1 Définition de clustering partitionnel :	36
3.2.2 Les types de clustering partitionnel :.....	36
3.2.3. Algorithme K-MEANS :	37
3.2.4 Les avantages de K-means [54] :	39
3.2.5 Les inconvénients de K-means [54]:.....	39
3.3 Modèle de système de base	40
3.3.1 La phase d'initialisation.....	42
3.3.2 La phase de transmission.....	47
3.4 Conclusion.....	48
Chapitre 4 Simulation.....	49
4.1 Introduction	49
4.2 Choix du langage et de l'environnement d'implémentation	49
4.3 Simulation	50
4.4 Résultats de simulation :	52
4.4.1 L'énergie résiduelle.....	52
4.4.2 Comparaison de la durée de vie	53
4.4.3 Comparaison de nombres de CH.....	55
4.4.4 Comparaison des données reçues	56
4.5 Conclusions	57
Conclusion générale	58
Bibliographie	56

Liste des figures

Figure 1 Nœuds capteurs [1]	3
Figure 2 Composants d'un capteur [2]	4
Figure 3 Pile protocolaire d'un capteur [3]	5
Figure 4 Modèle de consommation d'énergie [4].....	6
Figure 5 Les composants de réseau de capteurs sans fil [6]	8
Figure 6 Architectures adoptées pour les réseaux de capteurs [7]	8
Figure 7 Classification des protocoles de routage pour les RCSFs [16]	16
Figure 8 Configurations pour les RCSFs découpés [17].....	17
Figure 9 Paradigme de routage dans LEACH [21].....	19
Figure 10 L'étape de formation de clusters [22]	21
Figure 11 Les temps de chacune des deux phases dans une période [17].....	21
Figure 12 Flow chart de l'algorithme K-Means.....	38
Figure 13 Exemples des étapes de K-means	38
Figure 14 les deux phases de l'adaptation proposée	41
Figure 15 le Schéma de fonctionnement de l'adaptation proposée	42
Figure 16 Organisation des Nœuds dans l'adaptation proposée	43
Figure 17 Algorithme k-means.....	44
Figure 18 Résultat de K-MEANS ensembles des centroïdes.....	45
Figure 19 Election CHs a partir des nœuds les plus proche centroïdes proposés.....	46
Figure 20 Formation de clusters par l'algorithme K-means.....	47
Figure 21 Les paramètres de simulation.....	51
Figure 22 L'utilisation du valeur K pour la formation des clusters	52
Figure 23 L'énergie résiduelle versus les rounds du Protocole LEACH et K-MEANS_LEACH ...	53
Figure 24 Nombre des nœuds mort « premier, dixième, dernier »	54
Figure 25 Nombre de morts nœuds versus round	54
Figure 26 Nombre de vive nœuds versus round.....	55
Figure 27 Nombre de CHs nœuds versus round	55
Figure 28 Les Données Reçus du Protocole LEACH et K-MEANS_LEACH	56

Liste des Tableaux

Tableau 1 Applications RCSFs et ses exemples réelles	11
Tableau 2 Analyse comparative des successeurs LEACH	34
Tableau 3 les méthodes de clustering de partitionnement [47]	37
Tableau 4 Les paramètres de simulation	50

Liste des abréviations

RCSFs	Réseaux de Capteurs Sans Fil
CH	Cluster Head
LEACH	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchical
MATLAB	MATrix LABoratory
SB	Station de base
CAN	Convertisseur Analogique-Numérique
GPS	Global Positioning System
MAC	Media Access Control
IP	Internet Protocol
REQ	REQUEST
TDMA	Time Division Multi Access
OSI	International Standardization Organization
QoS	Quality of Service
TDMA	Time Division Multiplexed Access
WSN	Wireless Sensor Network

Introduction générale

Introduction Générale

Ces dernières années, les réseaux sans fil sont devenus de plus en plus courants en raison de la facilité de déploiement et du faible coût. Ils offrent des solutions prometteuses pour promouvoir la mobilité ainsi que les services de base là où l'infrastructure n'est pas installée. Pas possible ou coûteuse.

Dans les réseaux sans fil, nous assistons à la naissance d'un nouveau type de réseau. Ces réseaux sont appelés réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Ces réseaux sont constitués d'éléments qui peuvent non seulement être destinés à communiquer entre eux et à effectuer des calculs, mais aussi à numériser (ou à agir) l'environnement physique dans lequel ils sont déployés.

Les RCSF se composent souvent d'un grand nombre de nœuds de capteurs faibles en capacité en termes d'énergie, de mémoire, de calculs et de communication. Le RCSF a pour objectif de surveiller un environnement physique réel et d'informer son centre de contrôle des informations pertinentes sur l'environnement surveillé. Ils sont utiles dans de nombreux domaines (environnementaux, médicaux, militaires, etc.).

Le réseau de capteurs sans fil se compose de petits nœuds de capteurs alimentés par batterie. Les nœuds sont déployés au hasard dans l'environnement à surveiller. Pendant la collecte de données, l'énergie diminue dans les nœuds et la durée de vie du réseau diminue. Afin de maximiser la durée de vie du réseau, la consommation d'énergie des nœuds individuels doit être réduite. De nombreuses solutions proposent différentes technologies pour réduire la consommation d'énergie sur l'ensemble du réseau. Cependant, des améliorations restent à compléter pour une meilleure performance.

Les contraintes contenues dans le RCSF ont généré des protocoles de routage différents de ceux des autres réseaux sans fil. Les contraintes énergétiques étant fortement présentes dans le RCSF, divers algorithmes ont été développés pour minimiser la consommation d'énergie des nœuds de capteurs. Nous nous intéressons aux protocoles de routage hiérarchiques car ils sont meilleurs en efficacité énergétique. Le routage hiérarchique permet aux nœuds de regrouper (groupes) pour améliorer l'énergie dans le réseau de capteurs.

Nous allons adapter l'un des protocoles de routage les plus connus dans les réseaux de capteurs sans fil, (LEACH). La version adaptée s'appelle "K-MEANS_LEACH", utilise la méthode k-means pour la phase de regroupement pour prolonger la durée de vie du réseau plus que le protocole d'origine LEACH. L'algorithme proposé a été simulé avec MATLAB pour vérifier l'efficacité de l'amélioration de la durée de vie de ce réseau.

Dans ce travail, nous présentons le protocole de routage LEACH et K-MEANS_LEACH pour une étude comparative entre les deux en utilisant la simulation par MATLAB.

Chapitre 1 Réseaux de capteurs sans fil

1.1 Introduction

Aujourd'hui, les réseaux des capteurs Sans Fil (RCSFs) parmi les technologies les plus importantes dans la vie quotidienne. Les réseaux des capteurs sans fil sont constitués des nœuds (capteurs) permet de capter et collecter les informations et l'envoyer au station de base (SB). Dans ce chapitre, nous présentons le travail des réseaux de capteurs sans fil en mettant l'accent sur leurs applications et les principes d'économie d'énergie.

1.2 Un capteur sans fil

1.2.1 Définition

Un capteur est un petit dispositif électronique « sensor » capable de capter une information, la modifiée, la stockée et la transmettre à une station de base ou à un autre capteur. Il est composé de quatre unités de base: l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de communication et l'unité de contrôle d'énergie [1], la figure 1 montre un ensemble des capteurs.

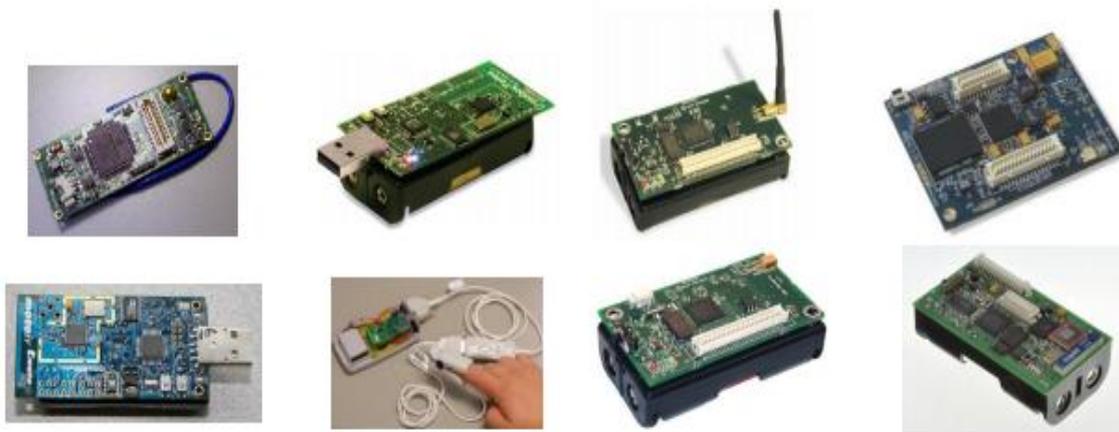


Figure 1 Nœuds capteurs [1]

1.2.2 Les différents composants d'un capteur

La figure 2 montre les différents composants d'un nœud capteur.

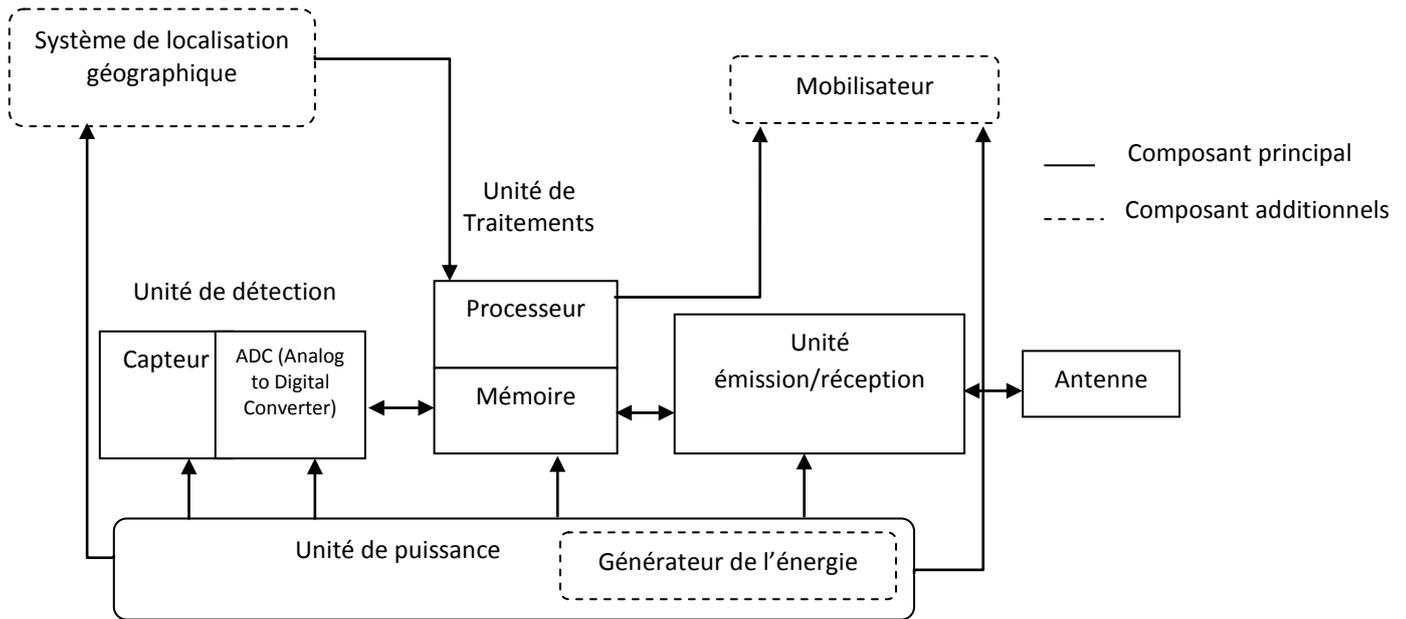


Figure 2 Composants d'un capteur [2]

Les principales unités d'un capteur sont [3] :

- ✓ **Unité de captage** : elle englobe généralement deux sous-unités, le capteur lui-même en plus d'un convertisseur analogique-numérique (CAN) qui transforme les signaux analogiques produits par les capteurs.
- ✓ **Unité de traitement** : elle comprend un processeur généralement associé à une petite unité de stockage. Elle exécute les protocoles de communication entre les nœuds. Elle peut aussi analyser les données captées pour alléger la tâche du nœud Sink.
- ✓ **Unité de communication** : elle effectue toutes les émissions et réceptions des données sur un médium « sans fil ».
- ✓ **Unité de contrôle d'énergie** : un capteur est muni d'une ressource énergétique (généralement une batterie). Cette ressource énergétique est limitée et généralement non remplaçable. L'énergie influence directement sur la durée de vie du réseau entier.

On trouve aussi des capteurs qui possèdent d'autres composants additionnels :

- ✓ **Système de localisation** : Il fournit des informations sur la localisation telle que GPS (Global Position System).
- ✓ **Mobilisateur** : il est appelé si le nœud capteur doit être déplacé.

1.2.3 Pile protocolaire

Cette pile protocolaire présentée dans la figure 3 comprend cinq couches qui ont les mêmes fonctionnalités que le modèle OSI, qui sont ajoutées à trois autres plans. Chaque couche utilise les services des couches inférieures et fournit des services pour le niveau supérieur.

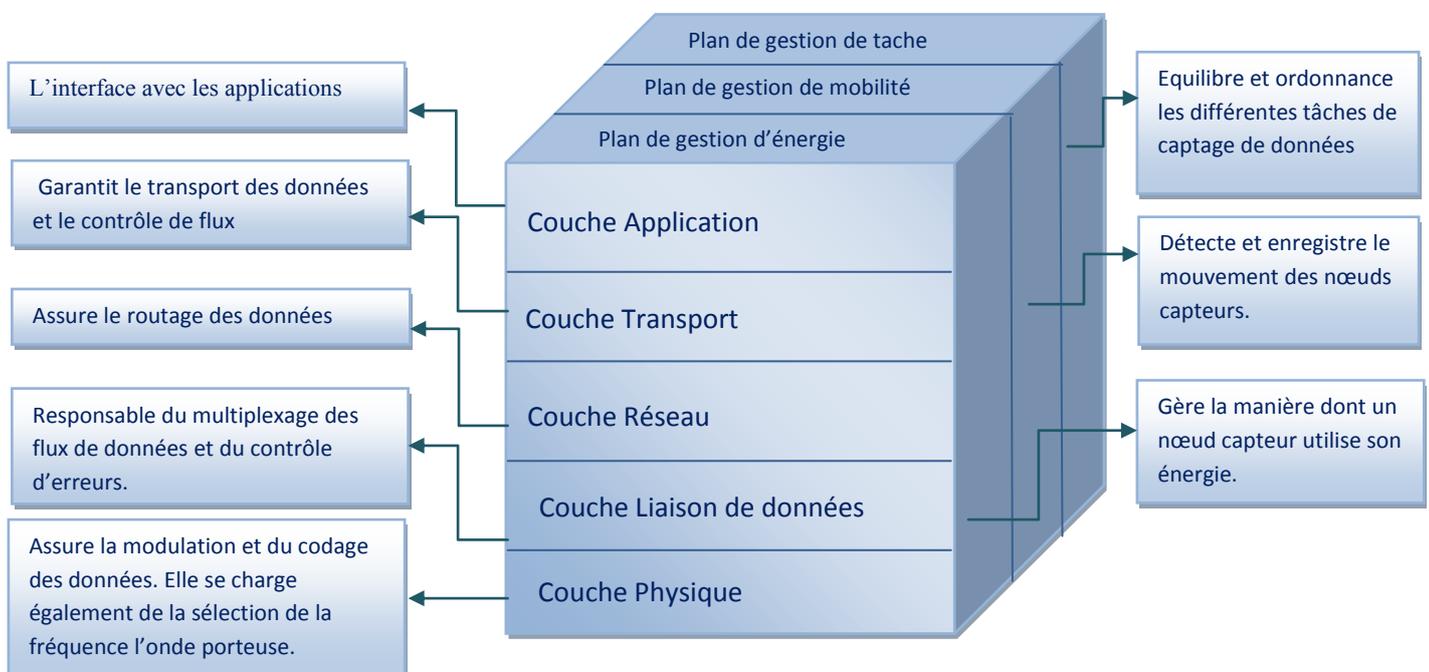


Figure 3 Pile protocolaire d'un capteur [3]

1.2.4 Consommation d'énergie Capteur

La conservation de l'énergie est devenue une préoccupation majeure dans les réseaux de capteurs : les batteries un peu de capacité et leur remplacement et leur recharge sont généralement difficiles. Par conséquent, la consommation d'énergie du capteur doit être bien contrôlée afin de maximiser la durée de vie du réseau [4].

- ✓ **Energie de capture** : L'énergie de capture est dissipée pour accomplir l'échantillonnage, traitement de signal et conversion analogique/numérique.

L'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommé par un nœud.

- ✓ **Energie de traitement :** L'énergie de traitement se divise en deux parties : l'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel et l'énergie de fuite qui correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement.
- ✓ **Energie de communication :** Il y a deux parties de l'énergie de communication: L'énergie de réception et l'énergie de l'émission. Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission, et par les propriétés physiques du module radio. La transmission du signal se distingue par sa capacité. Si la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée.

La figure 4 montre un modèle simple dans lequel l'émetteur dissipe de l'énergie pour faire fonctionner les appareils électroniques et l'amplificateur, et le récepteur dissipe de l'énergie pour faire fonctionner les appareils électroniques de radio.

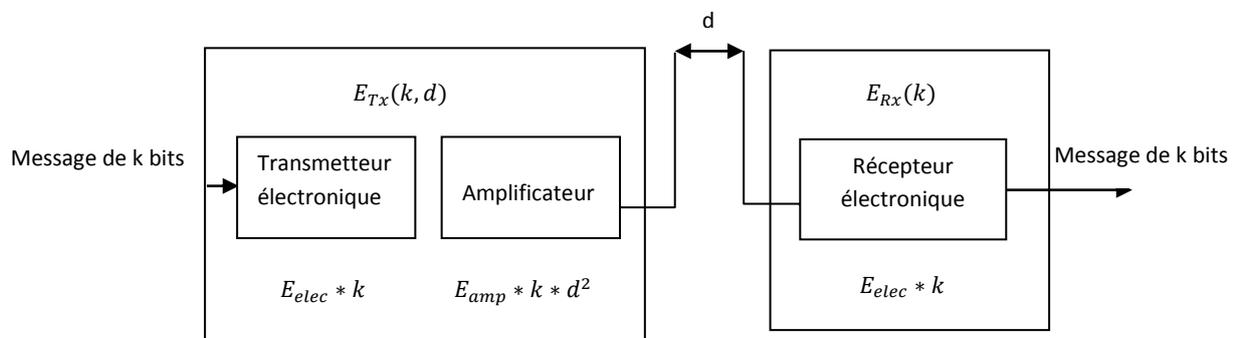


Figure 4 Modèle de consommation d'énergie [4]

Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission [4].

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

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx}(k) + E_{Tx_{amp}(k, d)}$$

Cette formule change selon la distance d.

$$ET_x(k, d) = \begin{cases} k * E_{elec}(k, d) + k * \xi_{amp} * d^2 & \text{si } d < d_{crossover} \\ k * E_{elec}(k, d) + k * \xi_{amp} * d^4 & \text{sinon} \end{cases}$$

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

$$ER_x(k) = k * E_{elec}$$

Avec :

E_{elec} : énergie de transmission/réception électronique

k : taille d'un message ;

d : distance entre l'émetteur et le récepteur ;

ET_x_amp : énergie d'amplification ;

ξ_{amp} : facteur d'amplification ;

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

1.3 Réseaux de capteurs sans fil

1.3.1 Définition

Le capteur sans fil est un petit appareil électronique capable de mesurer la valeur environnementale physique (température, lumière, pression, etc.) et de la communiquer au centre de contrôle via une station de base. Il se compose de quatre unités de base: l'unité de capture, l'unité de traitement, l'unité de communication et l'unité de contrôle de l'alimentation [5].

Comme le montre la figure 5, un RCSF se compose de plusieurs nœuds distribués dans une zone. Ces nœuds sont connectés à une ou plusieurs puits appelées «Sink » ou « station de base ».

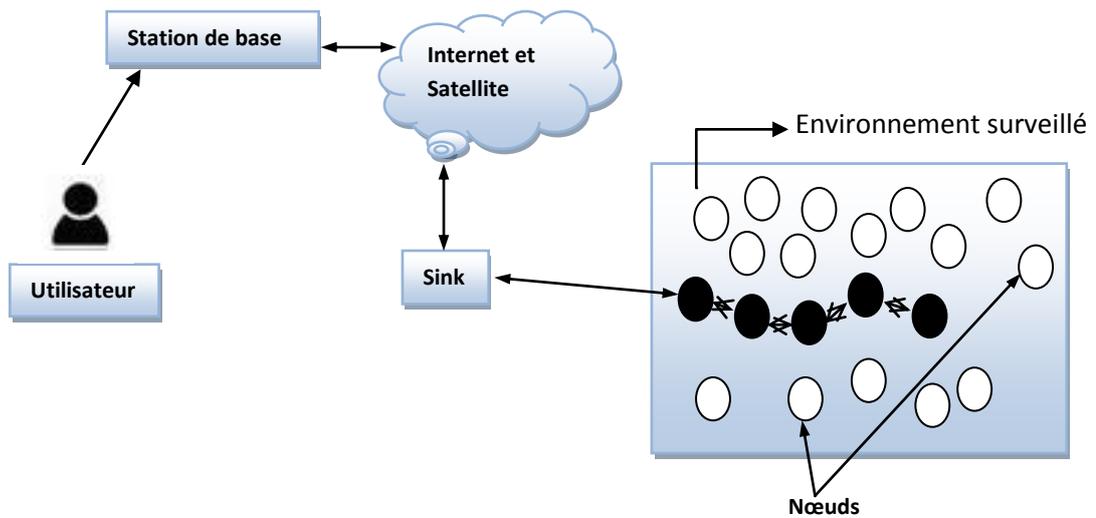


Figure 5 Les composants de réseau de capteurs sans fil [6]

1.3.2 Types d'architectures des réseaux de capteurs sans fil

Des architectures de réseaux de capteurs spécifiques suivent les applications et les techniques utilisées pour diriger les informations des capteurs vers la station de base.

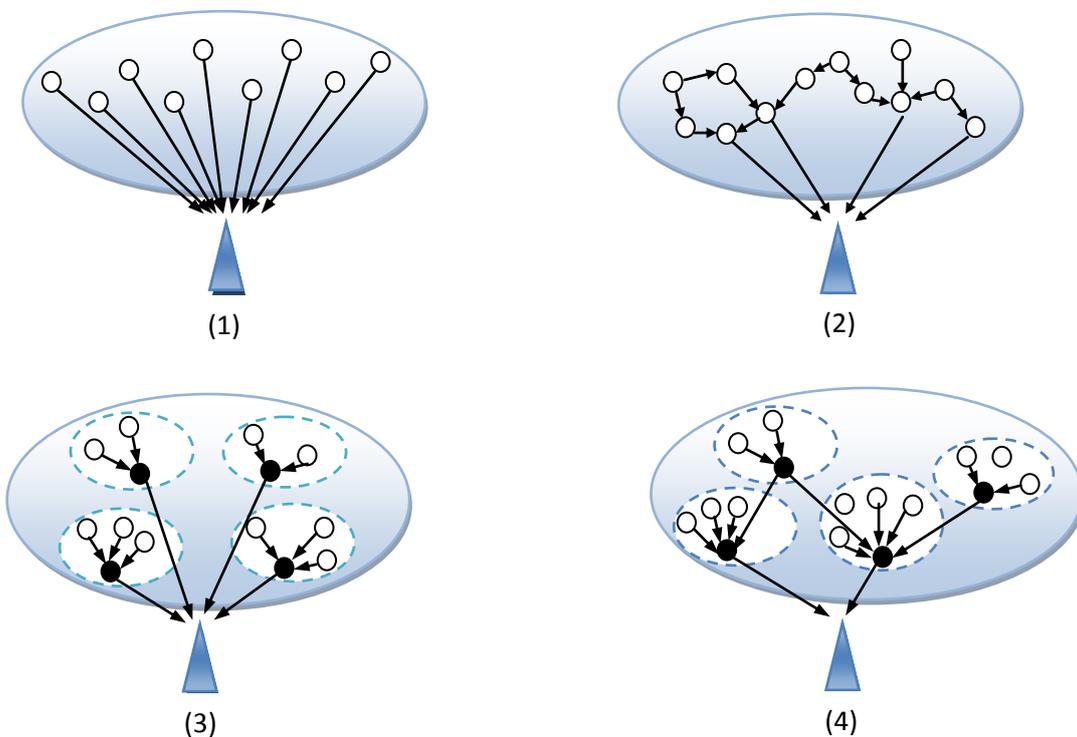


Figure 6 Architectures adoptées pour les réseaux de capteurs [7]

L'acheminement de l'information des capteurs à une station de base peut prendre quatre formes.

- ✓ Architecture plate, les capteurs peuvent communiquer directement avec la station de base, ceci engendre une forte consommation d'énergie (figure 6.1).
- ✓ Ou via un mode multi sauts avec des puissances très faibles (figure 6.2).
- ✓ D'autre part dans les architectures hiérarchisées, le nœud représentant le cluster, appelé cluster-Head, transmet directement les données à la station de base (figure 6.3).
- ✓ Ou via un mode multi-saut entre les cluster-Head (figure 6.4).

1.3.4 Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil

Les principales caractéristiques des réseaux de capteurs sont [8] :

- ✓ **Sans infrastructure** : Les capteurs sont généralement déployés aléatoirement dans des zones hostiles ce que nécessite qu'ils doivent s'autoconfigurer et s'auto-organiser sans intervention humaine.
- ✓ **Scalabilité (Passage à l'échelle)** : Dans les RCSFs, les capteurs sont déployés généralement en grand nombre pour garantir la couverture totale de la zone d'intérêt et faire face aux pannes.
- ✓ **Interférences** : la notion d'interférences apparaît dans la plupart des réseaux sans fil en particulier dans les RCSFs où deux capteurs voisins peuvent transmettre dans le même bande de fréquences ce qui peut causer des interférences.
- ✓ **Topologie dynamique** : Les capteurs sans fil peuvent être placés sur des objets mobiles par exemple sur des animaux pour les surveiller à distance sans perturber leur comportement.
- ✓ **Contrainte d'énergie, de stockage et de calcul** : La caractéristique la plus critique dans les RCSFs c'est la limite des ressources énergétiques. Dans la plupart des travaux de recherche, le majeur problème traité est l'énergie.

1.4 Domaines d'application RCSF :

Les principaux domaines d'application d'un réseau de capteurs sans fil peuvent être classés comme indiqué la référence [9].

- **Précision Agriculture :** Les informations collectées par les capteurs sont utilisées pour évaluer la plupart densité de semis favorable, estimation des engrais et autres intrants besoins et de prévoir plus précisément les rendements des cultures.
- **Bâtiments ou ponts intelligents :** Un bâtiment intelligent est capable de surveiller et de contrôler son propre fonctionnalité, selon la structure du bâtiment intérieur et l'environnement extérieur.
- **Sécurité et surveillance :** Les réseaux de capteurs sont déposés dans le champ d'intérêt et sont contrôlés à distance par un utilisateur. Le suivi des ennemis, les détections de sécurité.
- **Suivi des animaux :** Le suivi des animaux est une autre application des RCSFs dans lesquels un capteur est attaché au corps de l'animal afin que le transport et la position de l'animal peuvent être identifié.
- **Surveillance de l'environnement :** Les RCSFs dispersés dans des zones hostiles peuvent détecter des incendies, extraction de charbon, tremblements de terre, tsunami, inondation, fuite de gaz, de détecter de la pollution (taux de CO₂). Cela aide à prendre des précautions et aide également à sensibiliser les gens à la catastrophe qui est sur le point de se produire
- **Suivi des véhicules :** RCSFs utilisés pour surveiller la circulation pour réduire la congestion, le suivi des véhicules sur ville pour violation de la circulation.
- **Suivi des soins de santé :** L'utilisation des RCSFs dans le domaine médical pourrait apporter une surveillance permanente des patients et une possibilité de collecter des informations physiologiques tel que : la surveillance du niveau de glucose, le monitoring des organes vitaux ou la détection de cancers ce qui facilitent ainsi le diagnostic de quelques maladies.

Le tableau 1 suivant présente un résumé pour les domaines d'applications des réseaux capteurs sans fil avec des exemples réelles :

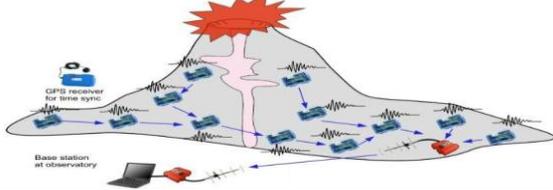
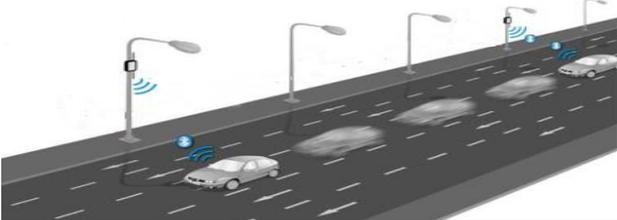
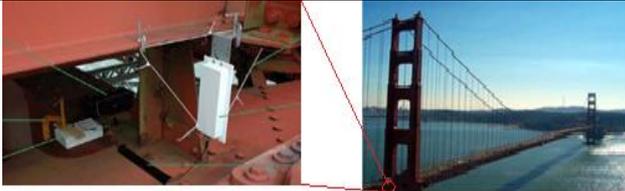
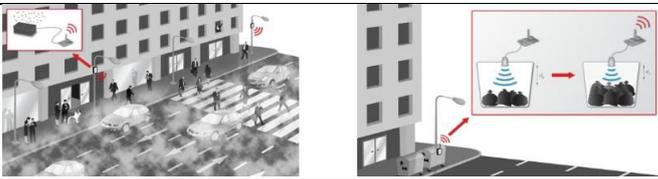
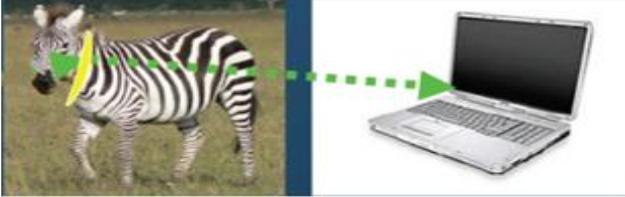
Applications	Exemple	Nom de projet
Précision Agriculture		TU Delft Deployment pour surveiller la qualité de l'eau dans l'environnement [10].
Surveillance environnement		Déploiement RCSF sur un volcan actif, Tungurahua, Équateur [10].
Suivi des véhicules		Smart Parking - suivi le flux et la congestion du trafic automobile pour des systèmes routiers efficaces dans les villes [10].
Suivi des soins de santé		RCSF pour les soins médicaux - pour surveiller l'activité de personnes âgées dans une maison de repos [10].
Bâtiments (ou ponts) intelligents		Contrôle des structures - Golden Gate Bridge [10].
Sécurité et surveillance		Smart Cities - Pollution sonore pour prévenir les problèmes environnementaux [10].
Suivi des animaux		ZebraNet une application pour suivre les zèbres sur le terrain Princeton, (2004) [10].

Tableau 1 Applications RCSFs et ses exemples réelles

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons identifié un capteur et ces composants et donc un réseau de capteurs sans fil, leur structure et leurs domaines d'application. Nous avons cité ses principales caractéristiques, ainsi que divers facteurs de conception. Nous avons présenté les différents problèmes qui se posent actuellement dans ce type de réseau.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons les principaux protocoles de routage utilisés dans ces réseaux, ainsi que leurs classifications.

Chapitre 2 Les protocoles de routage

Dans les RCSFs

2.1 Introduction

L'objectif principal du protocole de routage du réseau de capteurs sans fil est d'établir le chemin correct et efficace entre une paire de nœuds afin que les messages puissent être routés. Le protocole de routage permet aux nœuds de communiquer directement les uns avec les autres pour relayer les messages via plusieurs sauts et envoyer des données à la station de base. Dans ce chapitre, nous fournissons une classification des principaux protocoles de routage dans les réseaux RCSFs. Ensuite, nous nous concentrons sur le protocole LEACH qui fait l'objet de notre étude.

2.2 La communication dans les RCSFs

La communication et le routage dans les RCSFs sont un véritable défi en raison des caractéristiques intrinsèques qui distinguent ces réseaux des autres réseaux sans fil [11]:

- ✓ L'impossibilité de construire un système d'adressage global pour le déploiement d'un grand nombre de nœuds de capteurs
- ✓ Contrairement aux réseaux de communication typiques, presque toutes les applications de réseaux de capteurs nécessitent le routage des données détectées à partir de plusieurs sources vers une SB particulière.
- ✓ Les nœuds de capteurs sont étroitement limités en termes d'énergie, de traitement et des capacités de stockage. Ainsi, ils ont besoin d'une gestion prudente des ressources.

2.3 Classification des protocoles dans les RCSFs

Les protocoles de routage dans les RCSFs peuvent être classés entre eux selon quatre critères :

2.3.1 Selon la topologie du réseau

La topologie détermine l'organisation des capteurs dans le réseau [11].

a) Structure plate : dans une topologie plate, tous les nœuds capteurs ont le même rôle et collaborent entre eux pour accomplir la tâche de routage. Les réseaux plats sont caractérisés par : la simplicité, la tolérance aux pannes. Cependant, les performances de ces réseaux se dégradent quand le nombre de nœuds augmente.

b) Structure hiérarchique : dans cette topologie les nœuds ont des rôles différents. En effet, certains nœuds sont sélectionnés pour exécuter des fonctions particulières. Le clustering est la méthode la plus utilisée dans cette topologie grâce à ces avantages tels que l'agrégation ainsi qu'une grande scalabilité. Son inconvénient majeur est la surcharge des cluster-heads qui induit un déséquilibre de la consommation d'énergie dans le réseau.

2.3.2 Selon le mode d'établissement de la route

a) Les protocoles de routage Proactifs : Sont des protocoles qui fonctionnent selon des intervalles réguliers, ils sont plutôt destinés aux applications nécessitant un suivi périodique des données [12].

b) Les protocoles de routage Réactif : (dit à la demande) Sont des protocoles qui assurent une réaction instantanée aux changements soudains et brusques. Il est ainsi préconisé pour les applications dites à contraintes temporelles [11].

c) Les protocoles de routage Hybride : Sont des protocoles qui tirent parti des avantages des deux protocoles de routage précédents (proactifs et réactifs) [13].

2.3.3 Selon le paradigme de communication

Le paradigme de communication détermine la manière dont les nœuds sont interrogés. Dans les RCSFs, il existe trois paradigmes de communication [14].

a) Centré-nœuds : Ce paradigme est celui employé dans les réseaux conventionnels, où il est nécessaire de connaître et d'identifier les nœuds communicants comme les adresses MAC ou IP. Ce paradigme reste toujours performant dans le cas des réseaux de petite taille et nécessitent une interrogation individuelle des capteurs.

b) Centré-données : Le routage se fait suivant les données disponibles au niveau des capteurs. Ces données seront propagées de proche en proche pour y arriver à la station de base.

c) **Basé-localisation** : Dans cette technique, les décisions de routage sont établies selon la position des nœuds. Un tel type de routage nécessite que les nœuds aient connaissance de leurs positions géographiques.

2.3.4 Selon le mode de fonctionnement du protocole

Le mode de fonctionnement est la manière avec laquelle les données sont propagées dans le réseau [15].

a) **Routage basé sur les multi-chemins** : Dans cette catégorie, les protocoles de routage utilisent des chemins multiples plutôt qu'un chemin simple afin d'augmenter la performance du réseau.

b) **Routage basé sur les requêtes** : Dans ce type de routage, la station de base génère des requêtes afin d'interroger les capteurs. Les nœuds qui détiennent les données requises doivent les envoyer au nœud demandeur à travers le chemin inverse de la requête. Les requêtes émises par la station de base peuvent aussi être ciblées sur des régions spécifiques du réseau.

c) **Routage basé sur la négociation** : En détectant le même phénomène, les nœuds capteurs inondent le réseau par les mêmes paquets de données. Ce problème de redondance peut être résolu en employant des protocoles de routage basés sur la négociation.

d) **Routage basé sur la qualité de service** : Dans les protocoles de routage basés sur QoS, le réseau doit équilibrer entre la consommation d'énergie et la qualité de données. En particulier, le réseau doit satisfaire certaines métriques de QoS, par exemple, la latence, la consommation de l'énergie, largeur de bande passante, etc. Les protocoles de cette approche sont très recommandés pour les applications orientées surveillance.

La figure 7 récapitule une classification qui se base sur quatre critères précédents.

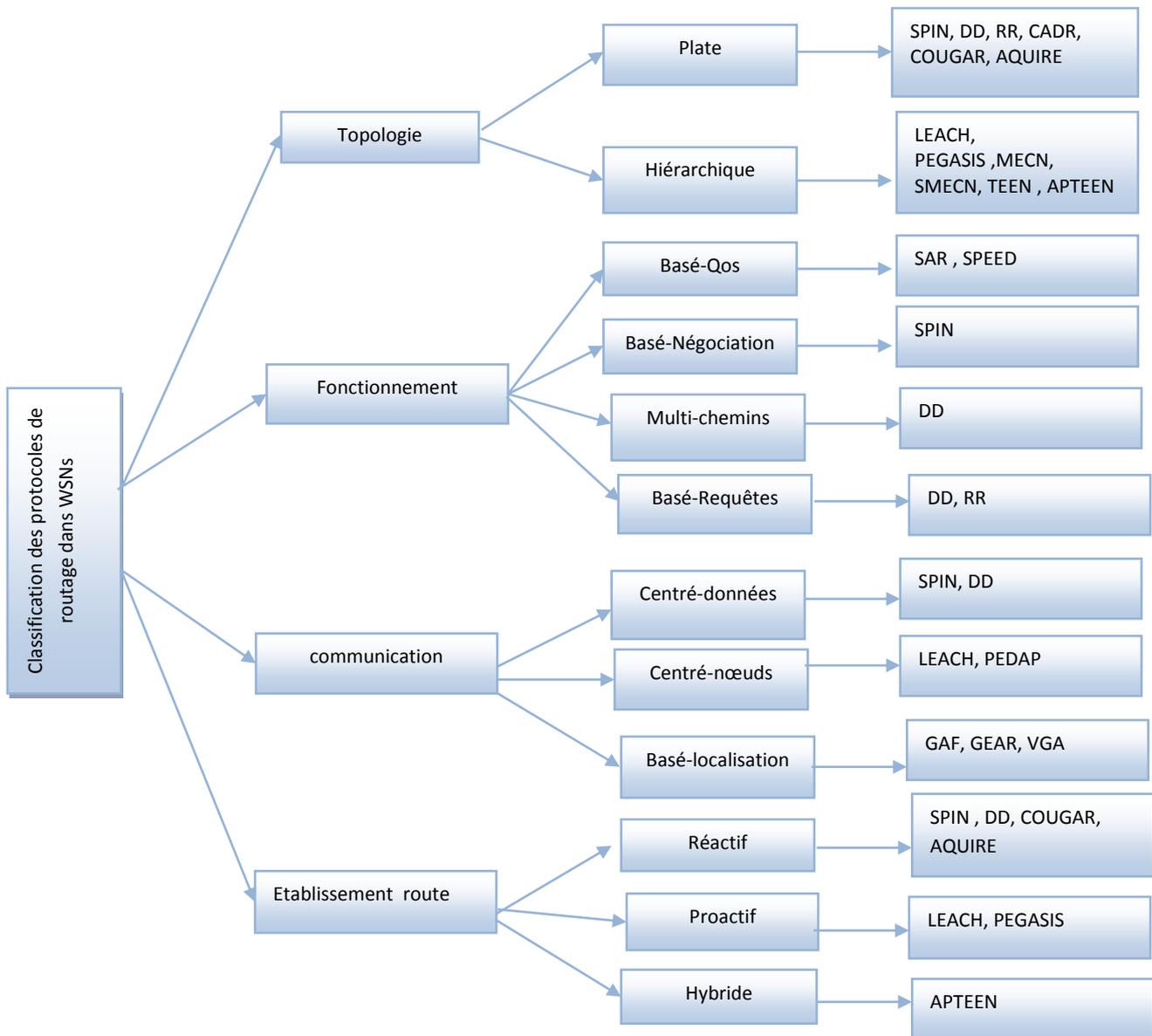


Figure 7 Classification des protocoles de routage pour les RCSFs [16]

2.4 Routage hiérarchique dans les RCSFs

Dans les réseaux hiérarchiques, les nœuds capteurs sont créés et gérés par des nœuds principaux appelés Cluster-Heads (CHs). Il existe deux configurations possibles pour ces groupes qui ont été créés. Dans la première configuration, les membres du groupe communiquent uniquement avec les CHs, obtenant ainsi un modèle basé sur le groupe. Deuxièmement, ils construisent des listes et utilisent d'autres membres du groupe de nœuds comme passerelles appelés leaders pour transférer leurs données à leurs chefs, obtenant ainsi un modèle basé sur une chaîne. Comme le montre la figure 8.

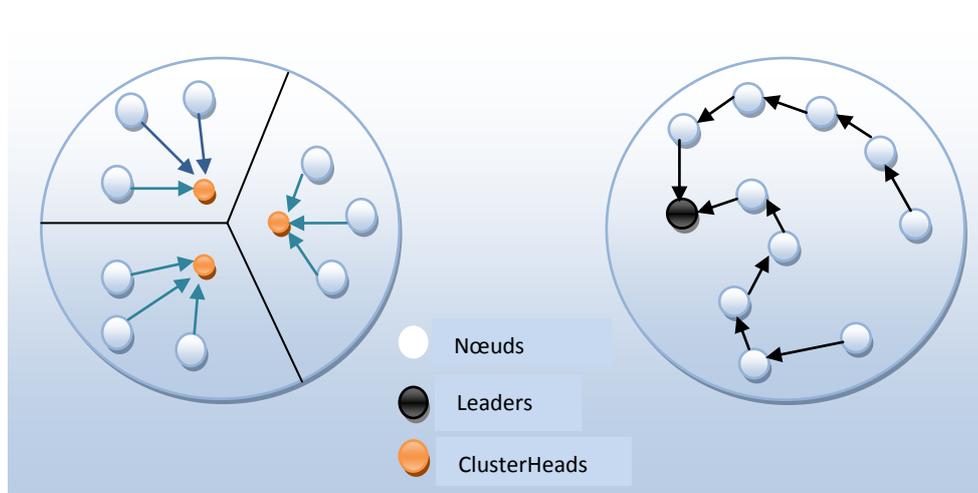


Figure 8 Configurations pour les RCSFs découpés [17]

2.5 Caractéristiques d'un protocole hiérarchique

Un protocole de routage hiérarchique doit définir plusieurs tâches selon lesquelles elles peuvent être classées :

2.5.1 L'algorithme de clustering utilisé

Un classement en trois types de ces algorithmes est proposé dans [18] en se basant sur le type d'algorithme de contrôle exécuté :

- ✓ **Centralisé** : l'algorithme est exécuté sur le nœud qui a une vue globale du réseau, généralement, au niveau du Sink.
- ✓ **Distribué** : l'algorithme est exécuté en coopération au niveau de chaque nœud du réseau. La synchronisation des tâches de contrôle est obtenue en échangeant des messages de contrôle.
- ✓ **Géographique** : l'algorithme de la tâche de contrôle à exécuter par un nœud dépend de sa position géographique.

2.5.2 La réélection des CHs

Par sa fonction, le nœud CH consomme plus d'énergie par rapport aux autres nœuds du réseau. Le CH coordonne le fonctionnement des nœuds membres de son cluster

et agrège leurs données, de ce fait, il dissipe plus d'énergie créant un déséquilibre de la distribution de l'énergie sur le réseau. Pour pallier à ce problème, une rotation de ce rôle de CH est organisée au sein du cluster ou bien au sein du réseau entier. La rotation est effectuée périodiquement ou bien en fonction de la consommation de l'énergie du nœud CH [18].

2.5.3 La nature des clusters générés

Les algorithmes de Clustering utilisés peuvent générer deux types de cluster [17]. :

- **Clusters disjoints** : Dans ce type un nœud ne peut appartenir qu'à un et un seul cluster à la fois.
- **Clusters interconnectés** : Ce type de clustering permet aux nœuds d'appartenir à un ou plusieurs clusters à la fois

2.5.4 La communication intra-cluster

La communication entre le nœud CH et les autres nœuds membres du cluster peut se faire, soit en un seul saut soit, en plusieurs sauts [19].

- **Communication direct (en un saut)** : les paquets de données sont envoyés directement au CH. Ce type de communication engendre une consommation importante d'énergie, si la distance entre le CH et les nœuds est grande.
- **Communication indirect (en plusieurs sauts)** : Dans ce cas, chaque membre du cluster envoie ses données au plus proche membre de son cluster jusqu'à l'aboutissement au CH. Ce type de communication engendre une consommation minimal d'énergie.

2.5.5 La communication inter-cluster

Les CHs peuvent communiquer directement avec la station de base, ou en plusieurs sauts via des nœuds appelés des nœuds Gateway. Il peut s'agir des nœuds CHs ou des nœuds membres du cluster. L'utilisation de la communication multi-sauts réduit la consommation d'énergie et rend le réseau extensible [17].

2.5.6 Le niveau d'agrégation de données

Selon le type des capteurs utilisés, l'agrégation de données peut se faire à chaque nœud du réseau ou bien uniquement au niveau des CHs. L'agrégation des données permet de réduire la taille des données échangées entre les nœuds, et par conséquent réduire l'énergie dépensée. [17].

2.6 Le protocole de routage Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

LEACH est considéré comme étant le premier protocole de routage hiérarchique basé sur les clusters qui était proposé par Heinzelman et al. Comme étant l'un des algorithmes de routage hiérarchique le plus populaire pour les réseaux de capteurs sans fil. [20].

2.6.1 Architecture de communication de LEACH

Comme montre la figure 9, tous les nœuds ordinaires transmettent leurs données à leur CH qui les agrègent et transmettent, à leur tour, à la BS selon une communication unicast (à un seul saut).

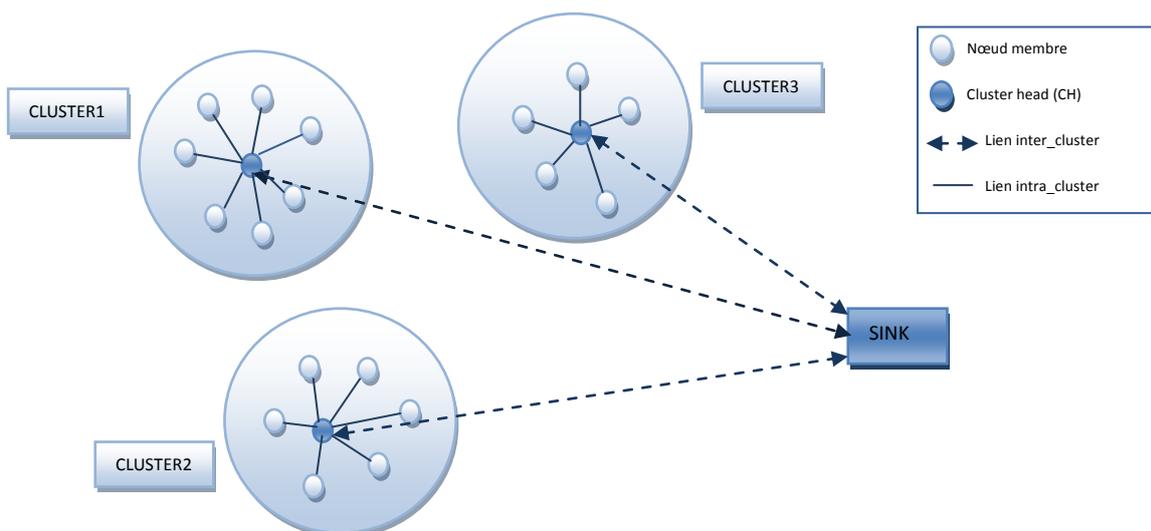


Figure 9 Paradigme de routage dans LEACH [21]

2.6.2 Principe de fonctionnement de LEACH

Le protocole LEACH suppose une énergie résiduelle égale du capteur lors du démarrage de fonctionnement du réseau. La durée de vie du réseau est ensuite divisée en tours par un choix de CH. Cependant, chaque cycle se compose de deux phases : une phase d'initialisation et une phase de transmission.

✓ La phase d'initialisation

Cette phase est composée, à son tour, de trois sous-phases : d'annonce, d'organisation des groupes et enfin d'ordonnancement :

- ✓ **Etape d'annonce** : Choix de nombre de CH, Ce nombre K, est fixe et il est inchangé durant tous les rounds. Nous estimons que le pourcentage optimal du nombre de CHs désirés devrait être de 5% à 15% du nombre total de nœuds. $P_i(t)$ est calculé en fonction de K et de round r [17]:

$$\text{Nombre CH} = \sum_{i=1}^N P_i(t) = K$$

Où N est le nombre total de nœuds dans le réseau. Si on a N nœuds et K CHs, alors, il faudra N/K rounds durant lesquels un nœud doit être élu seulement une seule fois autant que CH avant que le round soit réinitialisé à 0. Donc, la probabilité de devenir CH pour chaque nœud i est :

$$\text{Nombre CH} = \frac{\text{le nombre de CH désirés}}{\text{le nombre de noeuds qu'ont pas encore été élus CH durant les r rounds précédents}}$$

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{K}{N - K * (r \bmod \frac{N}{K})} & C_i(t) = 1 \\ 1 & C_i(t) = 0 \end{cases}$$

Avec $C_i(t)$: l'éligibilité de nœud d'être CH à l'instant t

Où $C_i(t)$ égal à 0 si le nœud i a déjà été CH durant l'un des rounds précédents, et, il est égal à 1 dans le cas contraire. Donc, seuls les nœuds qui n'ont pas encore été CH, ont

vraisemblablement une énergie résiduelle suffisante que les autres et ils pourront être choisis.

- ✓ **Etape 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 [17]. Chaque membre informe son CH de sa décision. Une fois que le CH ait reçu la demande, il lui envoie un message d'acquittement « Join- REQ ».

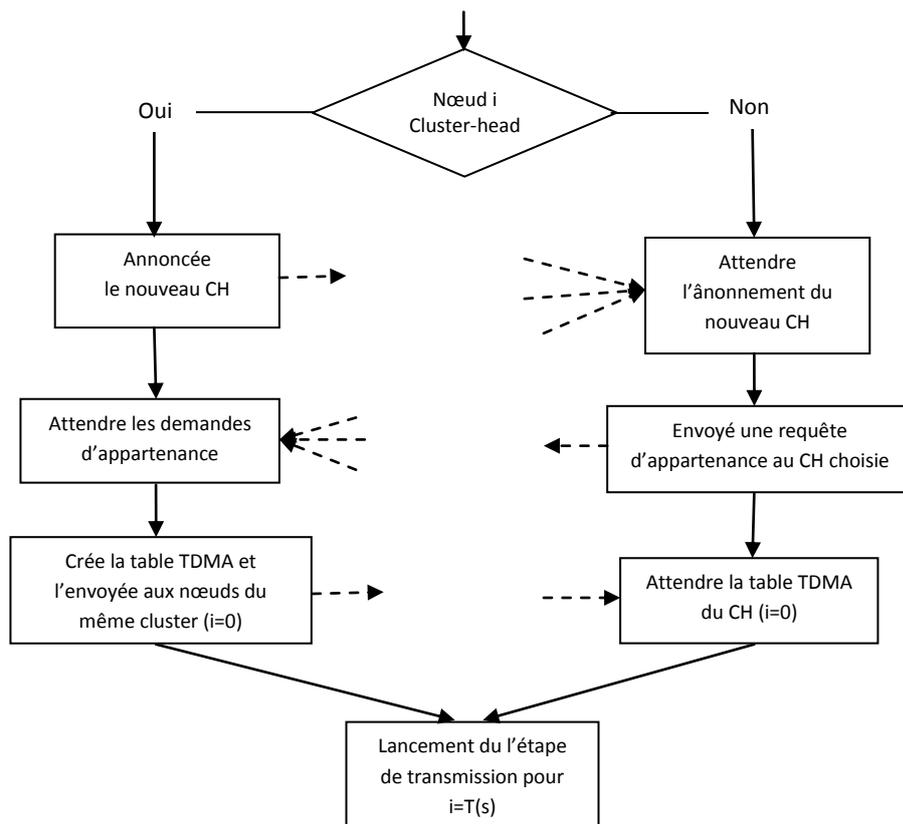


Figure 10 L'étape de formation de clusters [22]

- ✓ **Etape 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 et assigne à chaque nœud membre un slot de temps durant lequel il peut transmettre ses données.

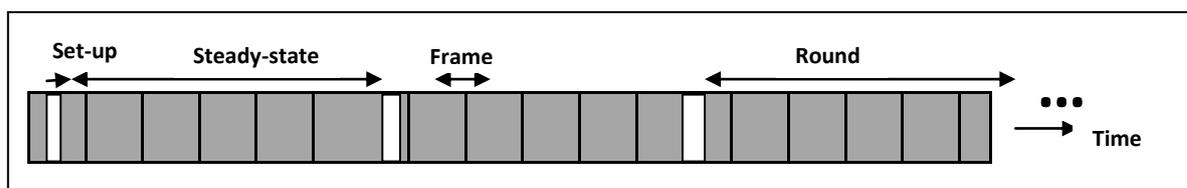


Figure 11 Les temps de chacune des deux phases dans une période [17]

➤ La 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 Sink [17].

2.6.3 Les avantages de protocole LEACH

Le protocole LEACH présente les avantages suivants [17]:

- ✓ **Algorithme distribué** : l'auto-configuration des clusters se fait indépendamment de la BS. Rotation des rôles de chefs de groupes : les CHs sont choisis de façon aléatoire et périodique parmi les nœuds formant le cluster ce qui empêche la forte consommation d'énergie pour la transmission des données.
- ✓ **Faible énergie pour l'accès au média** : Le mécanisme de groupes permet aux nœuds d'effectuer des communications sur des petites distances avec leurs CHs.
- ✓ **Agrégations des données** : Les CHs compressent les données arrivant de leurs membres, et envoient un paquet d'agrégation au nœud puits afin de réduire la quantité d'informations qui doit lui être transmise.

2.6.4. Les inconvénients de protocole LEACH

Le protocole LEACH présente les inconvénients suivants [17]:

- ✓ **Absence des CHs** : On pourra ne pas avoir des CHs durant un round si les nombres aléatoires générés par tous les nœuds du réseau sont supérieurs à la probabilité $P_i(t)$.
- ✓ **La distance entre le CH et les autres nœuds** : Les nœuds les plus éloignés du CH meurent rapidement par rapport aux plus proches.
- ✓ **Diminution de l'énergie des nœuds** : cette diminution est due à l'utilisation d'une communication à un seul saut au lieu d'une communication multi-sauts.

- ✓ **La rotation des CHs** : c'est une méthode qui n'est pas efficace pour de grandes structures de réseaux à cause de la surcharge d'annonces engendrées par le changement des CHs, et qui réduit le gain d'énergie initial.

2.7 Les différentes versions de LEACH

Tous les protocoles de regroupement liés à LEACH ont le même objectif commun : réduire la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie du réseau. Pour atteindre cet objectif et pour minimiser les désavantages de protocole LEACH les communautés de recherches a été proposé plusieurs versions améliorées, les plus connue dans les derniers dix ans sont :

2.7.1 FL-LEACH (Fuzzy Logic based LEACH) [23] :

Ce protocole est principalement basé sur la méthode d'inférence Mamdani et comprend un fuzzifier, un système d'inférence floue, des règles et un défuzzificateur. Et pour connaître les CH initiaux, il applique la logique floue à deux variables: le nombre de nœuds capteurs et la densité du réseau.

- ❖ L'avantage principal de ce protocole réside dans le calcul du nombre optimal de CH avant le déploiement du réseau.
- ❖ Les principaux inconvénients de ce protocole sont une distribution uniforme des nœuds et non considérant l'énergie comme paramètre pour la sélection du CH.

2.7.2 MR-LEACH (Multi-hop Routing-LEACH) [24] :

Ce protocole divise toute la zone en différentes couches et forme la hiérarchie des différentes couches de grappes. MR-LEACH produit la même taille de clusters dans chaque couche, ce qui signifie tout nœud normal envoie des données à la BS dans un nombre égal de sauts. Le CH dans MR-LEACH est sélectionné en fonction du résidu maximum énergie.

- ❖ Il augmente la durée de vie du réseau en adoptant la transmission multi-sauts des couches inférieures à la couche supérieure.
- ❖ Le hotspot est le principal problème de ce protocole.

2.7.3 FZ-LEACH (Far Zone-LEACH) [25] :

Les auteurs ont présenté l'idée d'une zone éloignée pour réduire la communication intra cluster en grande taille de clusters. Après la sélection de CH comme LEACH le processus de sélection de la zone éloignée démarre.

- ❖ Ce protocole résout le problème résultant de la différence dans les tailles de grappe de LEACH et améliore la durée de vie du réseau.
- ❖ Les principaux inconvénients de ce protocole est la sélection CH.

2.7.4 LEACH-GA (LEACH based Genetic algorithm) [26] :

LEACH-GA est un clustering adaptatif basé sur un algorithme génétique (GA) avec une probabilité optimale pour la formation de grappes et la sélection CH.

- ❖ LEACH-GA est plus performant que LEACH en termes d'efficacité énergétique.
- ❖ Il souffre d'un message frais généraux et évolutivité.

2.7.5 CELL-LEACH [27] :

Dans ce protocole le champ réseau est partitionné en plusieurs cellules hexagonales pour une meilleure couverture du réseau. Chaque cluster de ces sept cellules à leur propre CH. Les têtes de cellule et les CH sont changés au hasard à chaque tour.

- ❖ Ce protocole a une meilleure couverture réseau grâce à la création de cellules hexagonales.
- ❖ En raison des différents nœuds principaux (tête de cellule et CH), la complexité et la surcharge des paquets de contrôle augmente.

2.7.6 Q-LEACH (Quadrant Cluster based LEACH) [28] :

Dans ce protocole la zone de couverture est divisée en quatre quadrants. Les CH de chaque cluster communiquent entre eux en utilisant les plus courts entre la source et la destination.

- ❖ Ce protocole a amélioré la durée de vie du réseau.

- ❖ Il a augmenté retard et congestion dans le RCSF. Dans Q-LEACH, les CH ne sont pas sélectionnés sur la base de l'énergie résiduelle et le CH change à chaque tour.

2.7.7 LEACH-L (Energy Balanced LEACH) [29] :

Ce protocole de routage convient pour les réseaux capteurs sans fil de grande portée ou le nombre de sauts optimal est déduit. Les nœuds communiquent directement, lorsqu'ils sont situés à proximité de la SB. Les nœuds communiquent avec multi-sauts lorsqu'ils sont situés loin de la SB.

- ❖ LEACH-L améliore la durée de vie des grands RCSFs, où la BS est loin du réseau.
- ❖ Chaque nœud nécessite des informations de localisation, ce qui est un processus complexe et également coûteux.

2.7.8 W-LEACH (Weighted-LEACH) [30] :

Dans ce protocole, Ils ont attribué un poids basé sur l'énergie résiduelle et la densité à chaque capteur.

- ❖ Ce protocole augmente la durée de vie moyenne des nœuds de capteur et améliorent la durée de vie du réseau.
- ❖ Les principaux problèmes avec ces protocoles sont l'évolutivité et contrôler les frais généraux des messages.

2.7.9 P-Leach (Prediction based Cluster-LEACH) [31] :

Est une amélioration de LEACH avec Sink Mobile.

- ❖ P-LEACH a une meilleure conservation de l'énergie, une meilleure stabilité et une capacité de suivi des puits mobiles plus précise que les techniques existantes.
- ❖ Sa complexité et la surcharge des messages ont été augmentées en raison de la mobilité du SB.

2.7.10 EE-LEACH (Energy Efficient-LEACH) [32] :

Il utilise le théorème de probabilité conditionnelle pour fournir une formation optimale de cluster et une agrégation efficace des données qui économise une quantité d'énergie.

- ❖ prolonger la durée de vie du réseau, augmente la fiabilité du transfert de données et diminue la latence pour la transmission de données dans des réseaux hétérogènes.
- ❖ Il se compose de plusieurs techniques et de ce fait son la complexité augmente. Il manque l'intégrité des données et portée d'évolutivité.

2.7.11 LEACH -MAC (LEACH-Medium Access Control) [33] :

Ce protocole est conçu pour atténuer le problème de hasard en restreignant le nombre de publicités en tête de grappe.

- ❖ Le protocole LEACH-MAC est conçu pour atténuer le problème de hasard en restreignant le nombre de publicités en tête de grappe.
- ❖ Les problèmes majeurs avec ce protocole sont la complexité due au calcul de l'énergie et aux frais généraux des messages.

2.7.12 O-LEACH (Orphan-LEACH) [34] :

Il offre un taux de connectivité élevé avec grande couverture de zone du réseau. Les nœuds capteurs qui ne sont connectés à aucun CH sont considérés comme des nœuds orphelins. Les auteurs ont discuté de ce protocole dans deux scénarios différents.

- ❖ O-LEACH offre une meilleure couverture, un meilleur taux de connectivité, énergie et évolutivité par rapport à LEACH.
- ❖ Le principal problème avec ce protocole est de trouver les informations sur les nœuds orphelins. Retard de livraison des données et les frais généraux de contrôle.

2.7.13 RN-LEACH (Random Number based LEACH) [35] :

Dans RN-LEACH, les auteurs modifient le processus de génération de nombres aléatoires par les nœuds. Le nombre aléatoire généré est multiplié par rapport de l'énergie restante à l'énergie initiale des nœuds.

- ❖ Le principal avantage de RN-LEACH est d'augmenter la durée de vie du réseau et de minimiser la consommation d'énergie dans le réseau, d'augmenter les paquets acheminés vers BS et d'enrichir la période de stabilité du réseau.

2.7.14 UHBA-LEACH (LEACH based on Unified Heuristic Bat Algorithm) [36]:

Une nouvelle stratégie de mise à jour de la localisation est proposée où chaque individu peut librement convertir deux modes de recherche pendant le processus de mise à jour.

- ❖ UHBA a des meilleures performances que LEACH.

2.7.15 Improvement of LEACH Protocol [37] :

Ce protocole est conçu pour réduire l'énergie et les frais généraux. Le nœud planifié sera automatiquement la tête du cluster jusqu'à ce que les deux tiers de son énergie totale soient consommés. Une fois les deux tiers de l'énergie totale écoulés, le reclassement sera effectué pour supprimer les nœuds faibles énergie.

- ❖ La technique de planification utilisée permet de minimiser la surcharge vue dans le protocole LEACH.

2.7.16 Efficient Energy for Cluster Head Selection using New LEACH [38] :

La sélection des têtes de cluster est basée sur un algorithme appelé le nouveau LEACH. Les informations de l'emplacement et le niveau d'énergie sont envoyées au BS par chaque nœud, Le BS calcule l'énergie moyenne des nœuds et voit s'il y a des nœuds qui ont une énergie inférieure à la moyenne. Cela permet de rechercher des nœuds pouvant être des têtes de cluster.

- ❖ Il produit des meilleures performances pour : la durée de vie, la consommation d'énergie, le débit.

2.7.17 ALEACH-Plus [39] :

Ce protocole propose la nouvelle condition pour améliorer le processus de sélection des têtes de cluster. Il tient compte des facteurs tels que le niveau d'énergie du nœud, la distance à la station de base et un nombre de voisins dont l'objectif principal est de réduire l'énergie coût des nœuds de capteur. Une autre condition est la formation de grappes pour contrôler la destination de l'itinéraire des nœuds.

- ❖ Le primaire objectif augmente la durée de vie du réseau et la réduction de consommation d'énergie.

2.7.18 IMHT-LEACH (Improved Multi Hop Technique LEACH) [40] :

L'algorithme IMHT-LEACH offre des paramètres liés aux liens de communication tels que les sauts multiples de données, le temps de réponse et la chute de connexion. Le protocole IMHT-LEACH avec un nœud maître et deux nœuds esclaves a été correctement mis en œuvre. Le nœud maître communique directement avec les deux nœuds esclaves lorsque les deux sont à portée. Lorsqu'un nœud est déplacé hors de portée, la connexion est établie automatiquement via le nœud qui se trouve dans la portée.

- ❖ Il divise le réseau en plusieurs niveaux, utilise plusieurs sauts de données, ce qui augmente l'évolutivité du réseau.

2.7.19 Energy-Efficient Scalable Routing Algorithm (EESRA) [41] :

Cet algorithme est basé sur une hiérarchie à trois couches pour réduire la charge à l'en-tête de groupe et la sélection aléatoire des en-têtes de groupe. De plus, des transmissions à sauts multiples sont utilisées pour la communication entre les groupes.

- ❖ Il prolonge la durée de vie du réseau mieux que LEACH.

2.7.20 BRE-LEACH (Balanced Residual Energy-LEACH) [42] :

Le processus de protocole BRE-LEACH repose sur trois facteurs : énergie résiduelle, distance BS et multi-hop. Le BRE-LEACH sélectionne le chemin optimal en choisissant le CH qui a la plus grande énergie résiduelle et distance minimale à BS comme racine CH qui regroupe les données des autres CH et les transmet à la BS. Les CH les plus éloignés utilisent le multi-saut pour atteindre le CH racine.

- ❖ BRE-LEACH a une influence très importante sur l'expansion de la durée de vie du réseau et la consommation d'énergie comparé protocole LEACH.

2.7.21 LEACH-TLC (Target Location Constraint LEACH) [43] :

Ce protocole a été proposé pour deux raisons: La première est basée sur l'hypothèse d'une surveillance précise, car ce protocole construit un modèle pour le paramètre de performance de surveillance du réseau. Deuxièmement, le seuil de nœud de réseau d'alerte/veille est obtenu sur la base du modèle de paramètre de performance du réseau, et

la stratégie d'inactivité du nœud de réseau est générée à l'aide du seuil. Enfin, sur la base du mécanisme de puissance unifiée du réseau proposé, avec le facteur de distance entre le nœud et la station.

- ❖ LEACH-TLC peut diminuer le nombre de nœuds de travail, réduire consommation d'énergie du réseau, distribution uniforme de la consommation d'énergie des nœuds et prolongation de la durée de vie du réseau.

2.7.22 Efficient Modified-LEACH [44] :

Dans ce protocole il y a deux niveaux standards, dans lesquels les nœuds du premier niveau sont collecteurs de données et les nœuds du second niveau Transmettre les données collectées à BS. La sélection des CHs se fait selon à l'emplacement et au niveau d'énergie des nœuds. En d'autres termes, le nœud qui a une énergie plus élevée et est également plus proche des autres ceux et BS a plus de chances de devenir CH.

- ❖ L'algorithme proposé fournit un niveau acceptable amélioration de l'énergie efficient et de la durée de vie des nœuds.

2.7.23 EA-LEACH (Energy Aware LEACH) [45]:

Dans ce protocole chaque membre du cluster calcule l'énergie résiduelle attendue qu'il ait après la transmission à la tête de cluster. Le membre envoie cette valeur dans un paquet de données à sa tête de cluster. Ensuite, chaque tête de cluster calcule le résidu l'énergie qu'il aura après la transmission à la station de base, ajoute cela au l'énergie total résiduelle de tous les membres du cluster, et l'envoie avec le paquet de données à la station de base. A la fin de chaque tour, la station de base calcule l'énergie totale résiduelle du réseau et la diffuse aux nœuds du réseau.

- ❖ La fonction de seuil proposée augmente la probabilité pour les nœuds avec les énergies résiduelles élevées pour devenir des CHs, ce qui prolonge la durée de vie du réseau et augmente l'évolutivité du réseau.

2.7.24 Leach-D (LEACH Dynamic protocol) [46] :

Une version dynamique du protocole de LEACH pour augmenter taux de réception des paquets, et minimiser la consommation d'énergie et aussi le retard de bout en bout. Il consiste à distribuer des capteurs dans une zone où ils peuvent se déplacer suivant un

schéma de mobilité aléatoire ou préétabli, de manière les données soient collectées et renvoyées à la base station via des têtes de cluster.

- ❖ Ce protocole minimise la consommation d'énergie globale et la latence de livraison des paquets tout en maintenant un débit de réception de paquets considérable.

2.8 Synthèses des protocoles successeurs de LEACH

Le tableau suivant présente une étude exhaustive sur le LEACH et ses protocoles successeurs pendant les dix ans derniers de (2010→2020).

Nous avons discuté et comparé les différentes versions d'améliorations liés au protocole LEACH. Il est évident que les différents successeurs de LEACH donnent des améliorations par rapport au protocole de base LEACH surtout en terme conservation d'énergie et maximisation la durée de vie de réseaux. Ces protocoles ont été analysés de façon comparativement sur les divers paramètres suivantes :

- ✓ **Principe** : Nous y parlons brièvement du mécanisme du protocole.
- ✓ **Scalabilité** : les réseaux de capteurs sans fil sont composés de centaines de nœuds, les protocoles de routage devraient donc fonctionner avec ce nombre de nœuds.
- ✓ **Méthode de clustering** : Un protocole de routage hiérarchique doit définir plusieurs tâches selon lesquelles elles peuvent être classées :
 - Centralisé** : l'algorithme est exécuté sur le nœud qui a une vue globale du réseau, généralement, au niveau du Sink.
 - Distribué** : l'algorithme est exécuté en coopération au niveau de chaque nœud du réseau. La synchronisation des tâches de contrôle est obtenue en échangeant des messages de contrôle.
- ✓ **Choix de CH** : Le CH coordonne le fonctionnement des nœuds membres de son cluster et agrège leurs données.

Chapitre 2 Les protocoles de routage dans les RCSFs

- ✓ **Sauts inter-cluster :** Les CHs communiquent avec la (les) station(s) de base soit directement, soit en deux ou plusieurs sauts via des nœuds appelés généralement des nœuds Gateway. Ces nœuds peuvent être des CHs ou bien des nœuds membres d'un cluster.
- ✓ **Sauts intra-cluster :** La communication entre le nœud CH et les autres nœuds membres du cluster peut se faire, soit en un seul saut soit, en plusieurs sauts.
- ✓ **Efficacité énergétique :** les protocoles de routage devraient prolonger la durée de vie du réseau tout en maintenant un bon niveau de connectivité pour permettre la communication entre les nœuds.
- ✓ **Mobilité BS :** La BS peuvent être mobile ou fixe. Les protocoles de routage doivent fournir un support approprié pour ces mouvements.

Chapitre 2 Les protocoles de routage dans les RCSFs

Ref.	(Nom du Protocole, Année)	Principe	Scalabilité	Méthode Clustering	Choix de CH	Numéro de saut		Efficacité énergétique	Mobilité BS
						Inter-cluster	Intra-cluster		
[23]	Leach –FL (Fuzzy Logic based LEACH) 2010	La méthode d'interférence Mamdani + un fuzzifier, un système d'inférence floue, des règles et un défuzzificateur	Faible	Centralisé	Logique floue + densité du réseau.	Multi-saut	Saut-unique	Faible	Fixe
[24]	MR-LEACH (Multihop Routing LEACH) 2010	Différentes couches + un nombre égal de sauts d'envoi.	Haute	Distribué	Energie résiduelle.	Multi-saut	Saut-unique	Haute	Fixe
[25]	FZ-Leach (Far-Zone Leach) 2011	Zone éloignée (ZE) → réduire la communication intra cluster dans des clusters de grande taille.	Moyen	Distribué	Aléatoire.	Multi-saut	Saut-unique	Haute	Fixe
[26]	Leach-GA (Genetic algorithm-based LEACH) 2011	Un algorithme génétique (GA) + fonction de probabilité optimale	Faible	Distribué	Algorithme génétique (GA).	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[27]	Cell-Leach 2012	Partition en des cellules hexagonales ou chaque Sept cellules voisines forment un cluster	Très Haute	Distribué	Aléatoire + énergie résiduelle.	Multi-saut	Multi-saut	Moyenne	Fixe
[28]	Q-Leach (Quadrature-LEACH) 2013	Quadrant qui combine les caractéristiques des techniques de routage Q-DIR et LEACH.	Moyen	Distribué	Aléatoire + la probabilité T (n).	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[29]	LEACH-L (Energy Balanced Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 2013	Routage multi-sauts avancé + prendre en compte que la distance.	Limité	Distribué	Énergie résiduelle + distance.	Multi-saut	Saut-unique	Très Haute	Fixe
[30]	LEACH-W (Weighted LEACH) 2013	Utilisation des poids a basé sur l'énergie résiduelle et la densité à chaque capteur	Haute	Centralisé	Valeur de poids.	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[31]	P-Leach (Prediction based Cluster-LEACH) 2014	Utilisation une technique de prédiction pour réduire la consommation d'énergie	Haute	Distribué	Énergie maximale + distance du centre de la grappe.	Multi-saut	Saut-unique	Très Haute	Mobile
[32]	EE-LEACH (Energy Efficient-LEACH) 2015	Utilisation la distribution gaussien+ la théorème de probabilité conditionnelle pour l'agrégation	Très haute	Distribué	Densité spatiale + énergie résiduelle.	Multi-saut	Saut-unique	Haute	Fixe

Chapitre 2 Les protocoles de routage dans les RCSFs

[33]	Leach-MAC (LEACH-Medium Access Control) 2016	Ce protocole conçu pour atténuer le problème de hasard en limitant le nombre de publicités en tête de cluster.	Modéré	Distribué	Une variable de groupe de têtes de cluster dynamique.	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[34]	O-LEACH (Orphan-LEACH) 2016	Les nœuds capteurs qui ne sont connectés à aucun CH sont considérés comme des nœuds orphelins.	Haute	Distribué	La distance la plus courte.	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[35]	Leach-D (dynamic-LEACH) 2019	Une période d'estimation ronde pour réguler la transmission des données	Haute	Distribué	Sélectionner l'ensemble G des nœuds qui n'ont pas participé à l'élection CH lors du dernier tour 1 / p.	Saut-unique	Saut-unique	Moyenne	Fixe
[36]	RN-LEACH (Random umber based LEACH) 2018	Le nombre aléatoire généré est multiplié par le rapport de l'énergie restante à l'énergie initiale des nœuds.	Haute	Distribué	Le nombre aléatoire en fonction de seuil pour la sélection de la tête de cluster.	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[37]	UHBA-LEACH (Unified Heuristic Bat Algorithm LEACH) 2019	Un algorithme heuristique (UHBA) pour optimiser les élections dans les chefs de cluster.	Haute	Distribué	Un algorithme heuristique (UHBA).	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[38]	Improvement of LEACH Protocol 2019	Une planification d'élection des les têtes de cluster a base de tours + Energie total du réseaux	Modéré	Distribué	Le chef de groupe est élu au hasard au premier tour. Après cela, CH sera rechoisis si les 2/3 EnergieTo diminue	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[39]	New LEACH-based 2019	Pour déterminer le cluster optimal, BS calcule l'énergie du tout les nœuds pour décider des CHs	Haute	Centralisé	La sélection CH est effectuée par SB a base Max énergie	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[40]	ALEACH-Plus 2019	Niveau d'énergie du nœud+ la distance jusqu'à la SB et le nombre de voisins	Haute	Distribué	Max d'énergie + Min dist SB + NVoisin Max.	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe
[41]	IMHT-LEACH (Improved MultiHop Technique LEACH) 2019	Le protocole IMHT-LEACH avec un nœud maître et deux nœuds. Le maître communique directement avec deux nœuds lorsque les deux sont à portée.	Haute	Distribué	CH basé sur la distance de BS.	Multi-saut	Multi-saut	Haute	Fixe

Chapitre 2 Les protocoles de routage dans les RCSFs

[42]	Energy-Efficient Scalable Routing Algorithm (EESRA) 2017	Trois couches pour minimiser la charge des têtes de cluster + sauts multiples pour les communications intra-cluster	Haute	Distribué	Sélection aléatoire des têtes de grappe.	Saut-unique	Multi-saut	Haute	Fixe
[43]	BRE-LEACH (Balanced Residual Energy-LEACH) 2019	BRE-LEACH Le processus de ce protocole est basé sur trois facteurs : l'énergie résiduelle, la distance à BS et le multi-saut.	Modéré	Distribué	Max d'énergie résiduelle + moins de distance par rapport au BS en tant que racine CH.	Multi-saut	Saut-unique	Haute	Fixe
[44]	LEACH-TLC (target location constraint algorithm) 2019	L'hypothèse de la précision de la surveillance + le seuil de réveil / dormance +	Haute	Distribué	Max d'énergie résiduelle + min distance entre le nœud et SB .	Saut-unique	Saut-unique	Modéré	Fixe
[45]	Efficient Modified-LEACH 2019	deux niveaux standard, premier niveau de collections de données et deuxième niveau transmission les données collectées à BS.	Haute	Distribué	Niveau d'énergie des Standard N + distance entre eux et BS.	Multi-saut	Saut-unique	Haute	Fixe
[46]	EA-LEACH (Energy Aware LEACH) 2020	la station de base calcule l'énergie résiduelle totale du réseau et la diffuse aux nœuds du réseau.	Haute	Distribué	Énergies résiduelles.	Saut-unique	Saut-unique	Haute	Fixe

Tableau 2 Analyse comparative des successeurs LEACH

2.9 Conclusion

Généralement les protocoles de routages dans WSN se focalisent sur le maintien de la couverture totale tout en minimisant le nombre de nœuds actifs, cela en déterminant les nœuds qui doivent être passifs afin d'économiser leur l'énergie.

Dans ce chapitre, nous avons présenté une classification des principaux protocoles de routage dans WSN et concentré sur le protocole LEACH. Dans ce chapitre, on a décrit aussi les différentes versions de LEACH conçues pendant les derniers dix ans récents pour surmonter les désavantages du protocole LEACH. Tous les successeurs de protocole LEACH discutés dans ce chapitre offrent des améliorations importantes par rapport au LEACH traditionnel ;

Dans le chapitre qui suit. Nous proposons notre amélioration de protocole de routage LEACH dans la phase de création de cluster on utilisant la méthode de clustering K-MEANS pour réaliser un prolongement de la durée de vie du réseau ainsi que la gestion efficace de la consommation énergétique.

Chapitre 3 Adaptation de Clustering

3.1 Introduction

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

Notre objectif de départ était de améliorer le protocole LEACH on garantit une optimisation de la consommation de l'énergie durant la durée de vie du réseau.

3.2 Protocole proposé

Notre adaptation du protocole LEACH concerne spécialement l'étape de clustering ou le choix de nombre de clusters et leurs CHs . Au lieu d'utiliser le choix aléatoire de cluster et leur CHs , on va utiliser le clustering on utilisant la méthode k-means et la distance entre les nœuds et l'énergie résiduel. Le clustering k-means est une méthode de qui donne une meilleure partition avec séparation du cluster.

3.2.1 Définition de clustering partitionnel :

Regrouper n individus en k classes de telle sorte que les individus d'une même classe soient le plus semblables possible et que les classes soient bien séparées en satisfaisant aux exigences suivantes :

- ❖ Chaque groupe contient au moins un noeud.
- ❖ Chaque noeud appartient exactement à un groupe.

3.2.2 Les types de clustering partitionnel :

Il existe de nombreuses méthodes pour le clustering de partitionnement ,les plus connus sont: K-MEANS, FUZZY C- MEANS , K-MEDOID , C-MEANS , Le tableau suivant examine de protocoles de routage dans les réseaux capteurs sans fil (RCSFs) qui utilise le clustering de partitionnement avec la méthode « K-MEANS ».

Ref	Caractéristiques	Intra-cluster	inter-cluster	Choix de CH	Comparer avec	Avantages
[48]	Le k-means est utilisé pour implémenter un nombre optimal de clusters.	Saut-unique	Saut-unique	Nœud près du centre de gravité	Clustering traditionnel	-Evolutivité. -Nombre optimal de clusters. -Augmentation de la durée de vie du réseau.
[49]	KPSO/KGA	Saut-unique	Saut-unique	K-means/ Distance euclidienne	k-means	-Réduit la consommation d'énergie. -Nombre optimal de clusters. -Augmentation de la durée de vie du réseau.
[50]	ID de nœuds unique, fait référence à la distance euclidienne entre les nœuds et son propre centre de gravité de cluster.	Saut-unique	Saut-unique	Format mathématique de l'algorithme Midpoint	k-means	-Plus efficace et correct que k-Means pour les grands clusters.
[51]	Mélange de(K means, Davies Bouldin Index , Gaussian elimination)	Multi-saut	Saut-unique	Distance euclidienne énergie résiduelle	/	-Il a de meilleures performances.
[52]	EBRP	Saut-unique	Saut-unique	K-means++ Distance euclidienne	k-means	-Mieux que k-Means pour les grands clusters.
[53]	Algorithme génétique	Saut-unique	Saut-unique	K-means/ Distance euclidienne	GA	-Solution optimale.

Tableau 3 les méthodes de clustering de partitionnement [47]

3.2.3. Algorithme K-MEANS :

L'algorithme K-MEANS est présenté comme l'un des algorithmes d'apprentissage non supervisé les plus simples qui résolvent les problèmes de clustering, mis au point par J.B. Mac Queen en 1967. Dans cette méthode nous attribuons un point dans chaque groupe où le centre de ce groupe est le plus proche (centredoid). Le centre est la moyenne de tous les points du groupe et ses coordonnées sont la moyenne arithmétique de chaque dimension séparément de tous les points du groupe, ce qui signifie que chaque cluster est représenté par son centre de gravité.

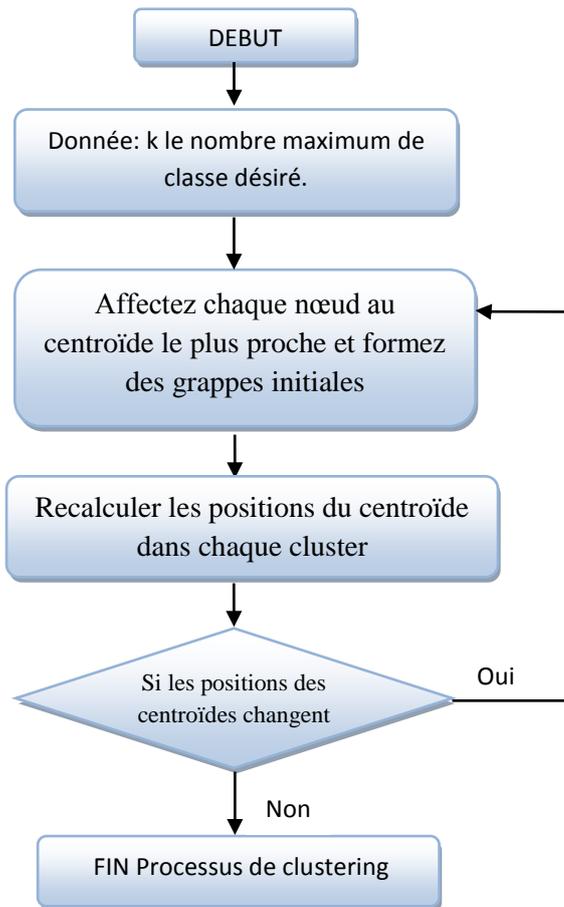


Figure 12 Flow chart de l'algorithme K-Means.

La figure 13 suivante illustre un exemple explicatif des étapes d'exécution de K-means.

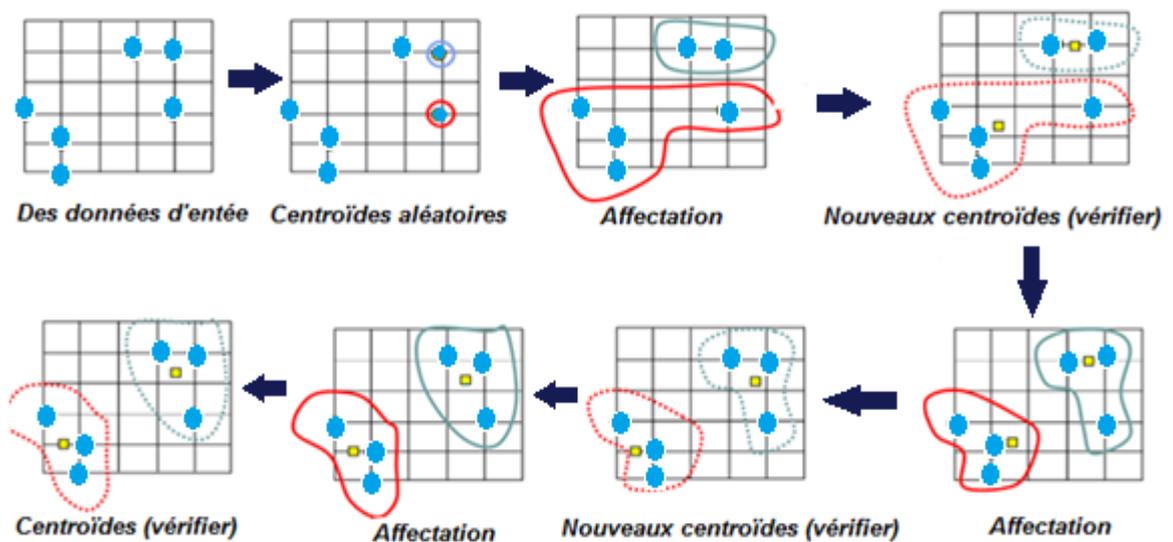


Figure 13 Exemples des étapes de K-means

3.2.4 Les avantages de K-means [54] :

- ❖ **Flexible:** L'algorithme K s'adapte aux différentes modifications qui peuvent être apportées aux données.
- ❖ **Simple:** L'algorithme k est facile à mettre en œuvre et identifie les ensembles de données inconnus à partir d'ensembles de données complexes. Les résultats seront affichés rapidement.
- ❖ **Convient aux gros ensembles de données:** Le protocole K-means convient à un grand nombre d'ensembles de données et est calculé plus rapidement que les plus petits.
- ❖ **Précision:** L'analyse K-means garantit une précision de classification améliorée et fournit des informations sur un problème spécifique.
- ❖ **Clusters proches:** Comparées aux algorithmes hiérarchiques, les k-Means produisent des clusters plus serrés.
- ❖ **Efficace:** K-means vous permet de diviser de grands ensembles de données. Son efficacité est représentée par les clusters qu'il forme.
- ❖ **Faible coût de calcul:** Le coût de calcul de .k-means est rapide et efficace.

3.2.5 Les inconvénients de K-means [54]:

- ❖ **Manque de cohérence:** La méthode de clustering K-means donne des résultats variables sur différentes exécutions d'un algorithme. Un choix aléatoire de modèles de clusters produit différents résultats, ce qui entraîne une incohérence.
- ❖ **Ensemble non optimal de clusters:** K-Means n'est pas permis de développer un groupe idéal et vous devez choisir les groupes avant d'obtenir des résultats efficaces.
- ❖ **Effet uniforme:** Même lorsque les données d'entrée sont de tailles différentes, elles produisent un ensemble de tailles standard.
- ❖ **Traiter les données numériques:** L'algorithme des moyennes K n'est implémenté que dans les données numériques.
- ❖ **Limitation des calculs:** Lorsqu'il s'agit d'un grand ensemble de données, l'application d'une technique de dendrogramme fera planter l'ordinateur en raison de la charge de calcul et des limites de mémoire dynamique.

- ❖ **Ordre des valeurs:** Lors de la création d'un algorithme, la façon dont les données sont organisées affecte les résultats de l'ensemble de données.
- ❖ **Problèmes de prédiction:** Il est difficile de prévoir les valeurs k ou le nombre de clusters. Il est également difficile de comparer la qualité des clusters produites.
- ❖ **Spécifiez les valeurs K :** Pour que la classification par K -moyennes soit efficace, vous devez spécifier le nombre de clusters (K) au début de l'algorithme.

3.3 Modèle de système de base

Notre adaptation de protocole LEACH propose une amélioration de la procédure de clustering. L'algorithme de clustering K -Means et LEACH ont été liés pour améliorer l'affectation de clustering afin d'améliorer la particularité du cluster et pour rendre le processus efficace en terme d'énergie pour augmenter la durée de vie du réseau RCSFs. L'utilisation de l'algorithme k -means comme technique de clustering pour La formation des grappes assure un clustering parfait. Et réduit les frais généraux lors de la réélection du CHs.

Le modèle de réseau utilisé dans ce schéma est basé sur certaines hypothèses qui sont énumérées ci-dessous.

- ❖ N des nœuds sont distribués au hasard dans une zone carrée de $M \times M$.
- ❖ La même énergie initiale est équipée pour tous les nœuds du capteur.
- ❖ Un ID unique est attribué pour chaque nœud.
- ❖ La SB possède une réserve d'énergie illimitée et une puissance d'émission conséquente. De ce fait, tous les nœuds capteurs sont à portée de la SB.
- ❖ Les nœuds peuvent utiliser si besoin y est, le contrôle de puissance afin de réguler la puissance d'émission en fonction de la distance de transmission. Ainsi, un CH peut directement effectuer une transmission vers la SB.
- ❖ les nœuds capteurs et la SB sont fixes (immobiles).
- ❖ Les nœuds capteurs disposent d'une mémoire suffisante afin d'éviter toute congestion.

Cette section présente la configuration de l'adaptation proposée de protocole LEACH qui constitue dans deux phases : phase d'initialisation et la phase de transmission.

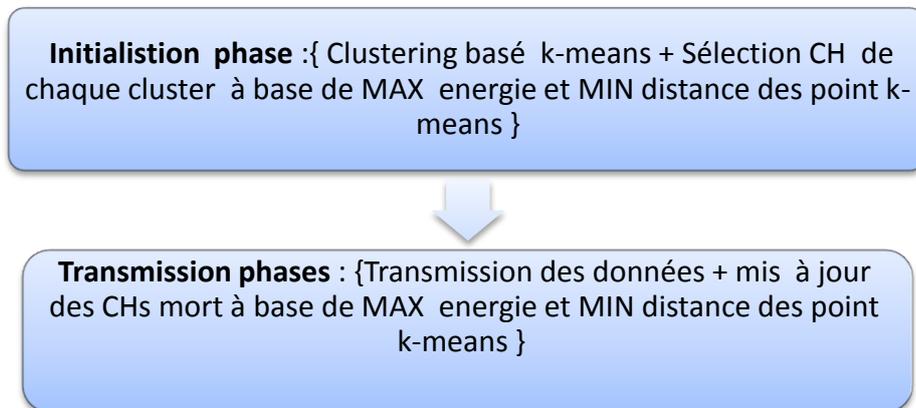


Figure 14 les deux phases de l'adaptation proposée

- ❖ **La phase initialisation** : les nœuds sont distribués aléatoirement dans la zone de réseau, après le processus de clustering avec la méthode K-means commence, le choix de k-CH est effectué dans cette phase en utilisant la distance et l'énergie maximal et la distances minimal k-means pour choisir le CH de chaque cluster .
- ❖ **La phase de transmission** : les nœuds de chaque Cluster commence l'envoi des donnés collectes au leur propre CH de Cluster, après certaine itération, si l'énergie de CH de cluster \leq Energie Min une procédure de mise à jour de CH va commencera parmi les nouds vive appartient au cluster en utilisant comme début la distance et l'énergie comme paramètres de choix.

La figure 16 ci-dessous illustre le flowchart de fonctionnement de l'adaptation proposée.

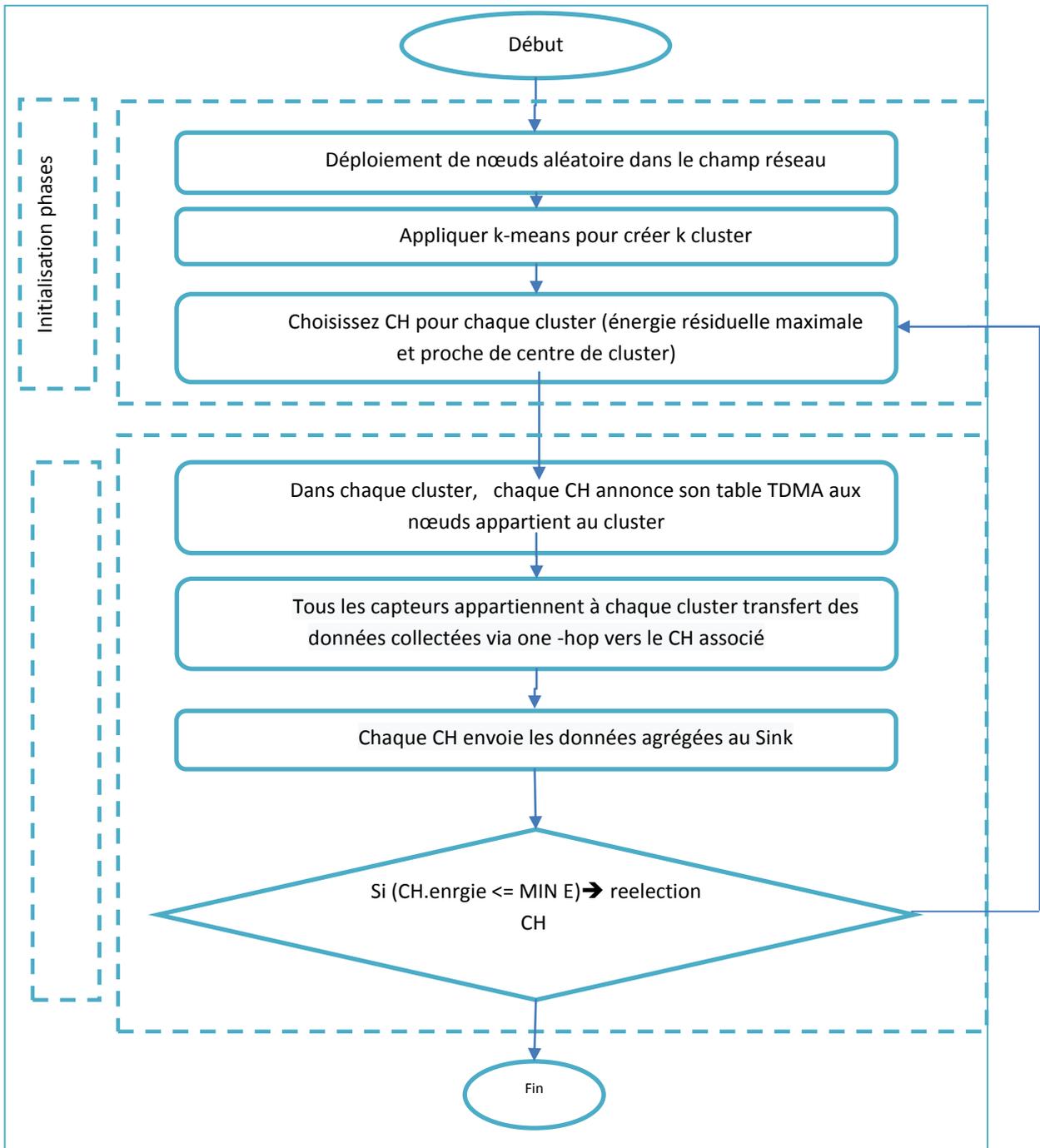


Figure 15 le Schéma de fonctionnement de l'adaptation proposée

3.3.1 La phase d'initialisation

Etape 1 : distubution des nœuds

Dans cette étape la station de base (SB) distribue aléatoirement les nœuds dans le champ de réseau. On va choisir la fonction *random* pour donner les coordonnées x,y de chaque nœuds .

La figure 16 présente l'idée de base de l'organisation des nœuds et emplacement de station de base dans notre protocole proposé.

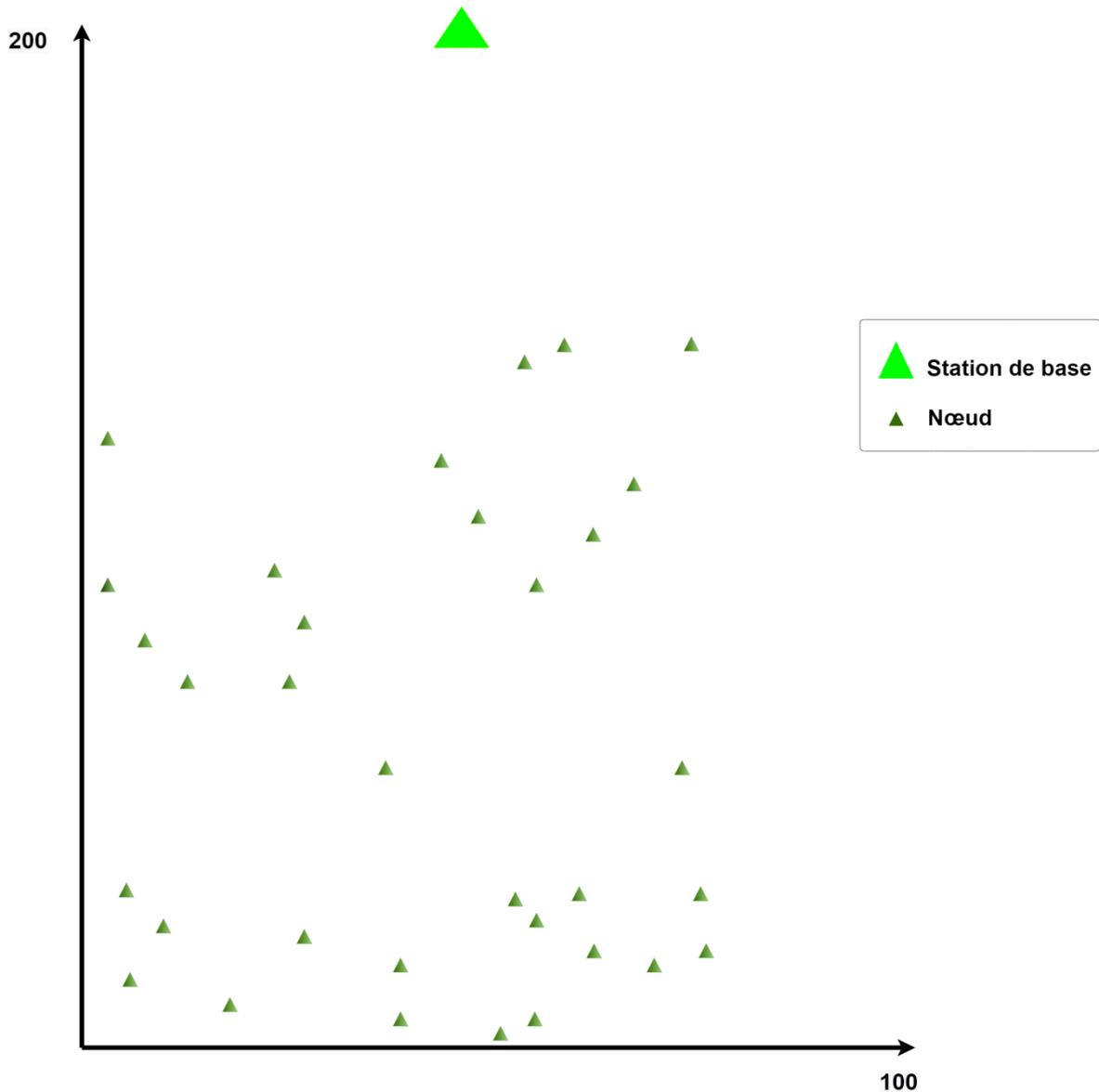


Figure 16 Organisation des Nœuds dans l'adaptation proposée

Etape 02 : Création des cluster on utilisant k-means

Après avoir distribué les nœuds, l'utilisateur choisira le nombre de cluster k . En utilisant l'algorithme K-MEANS, le processus de clustering commence en donnant le nombre de cluster k , après avoir répété quelques itérations, Le centre de gravité de chaque grappe (centroïdes) est formé dans le RCSF.

➤ L'algorithme de k-means :

Entrée(Ensemble de N donnée noté par \mathbf{X} , Nombre de groupes souhaité noté par \mathbf{k}

Sortie (Une partition de \mathbf{K} groupes $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$.)

Début

1) Initialisation aléatoire des centres C_k ;

Répéter

2) Affectation : générer une nouvelle partition en assignant chaque objet au group dont le centre est le plus proche :

$$X_i \in C_k \text{ si } \forall_j |X_i - \mu_k| = \min |X_i - \mu_k|$$

Avec μ_k le centre de la classe K ;

3) Représentation : Calculer les centres associe à la nouvelle partition ;

$$\mu_k = \frac{1}{N} \sum_{x \in C_k} x_i$$

Jusqu'à convergence de l'algorithme vers une partition stable ;

Fin

Figure 17 Algorithme k-means

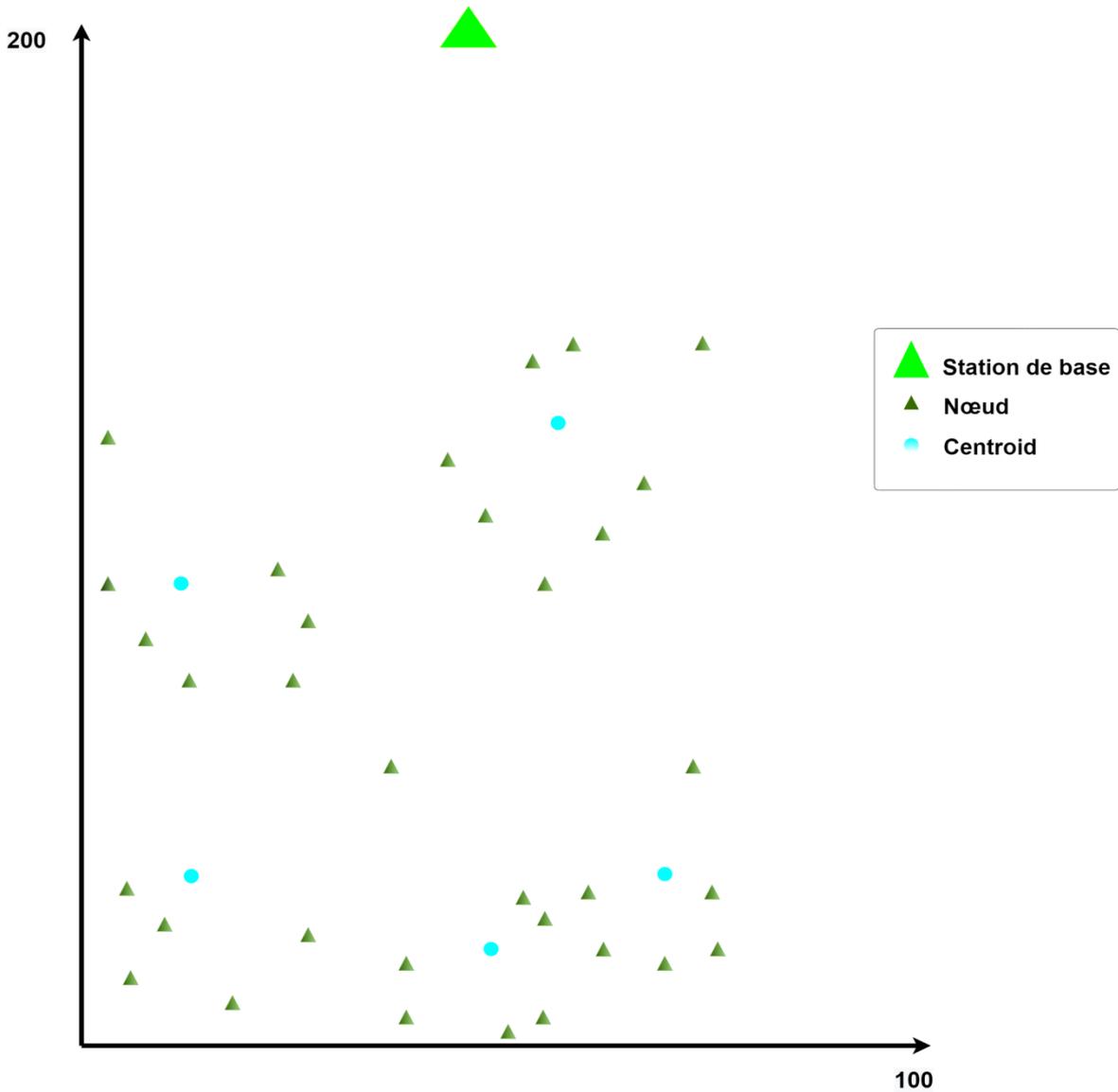


Figure 18 Résultat de K-MEANS ensembles des centroides

Etape 03: Choix Cluster-Head

Après la création des cluster, on va choisir le Cluster Head de chaque cluster , Cette sélection de cluster-Head CH est basée sur la formule.

$$F(n) = \left\{ \begin{array}{l} Energy_{CH} = Max Energy_{node i} \\ ET \\ Distance_{CH} = MIN Distance_{node i} \end{array} \right\}$$

Où

EnergyCH : L'énergie de nœud CH choisis avec le maximum d'énergie résiduelle parmi les nœuds appartient au Cluster.

Distance_{CH} : La distance de nœud CH choisis parmi les nœuds appartient au Cluster avec minimum distances euclidienne entre nœud et le centre de chaque cluster donné avec k-means.

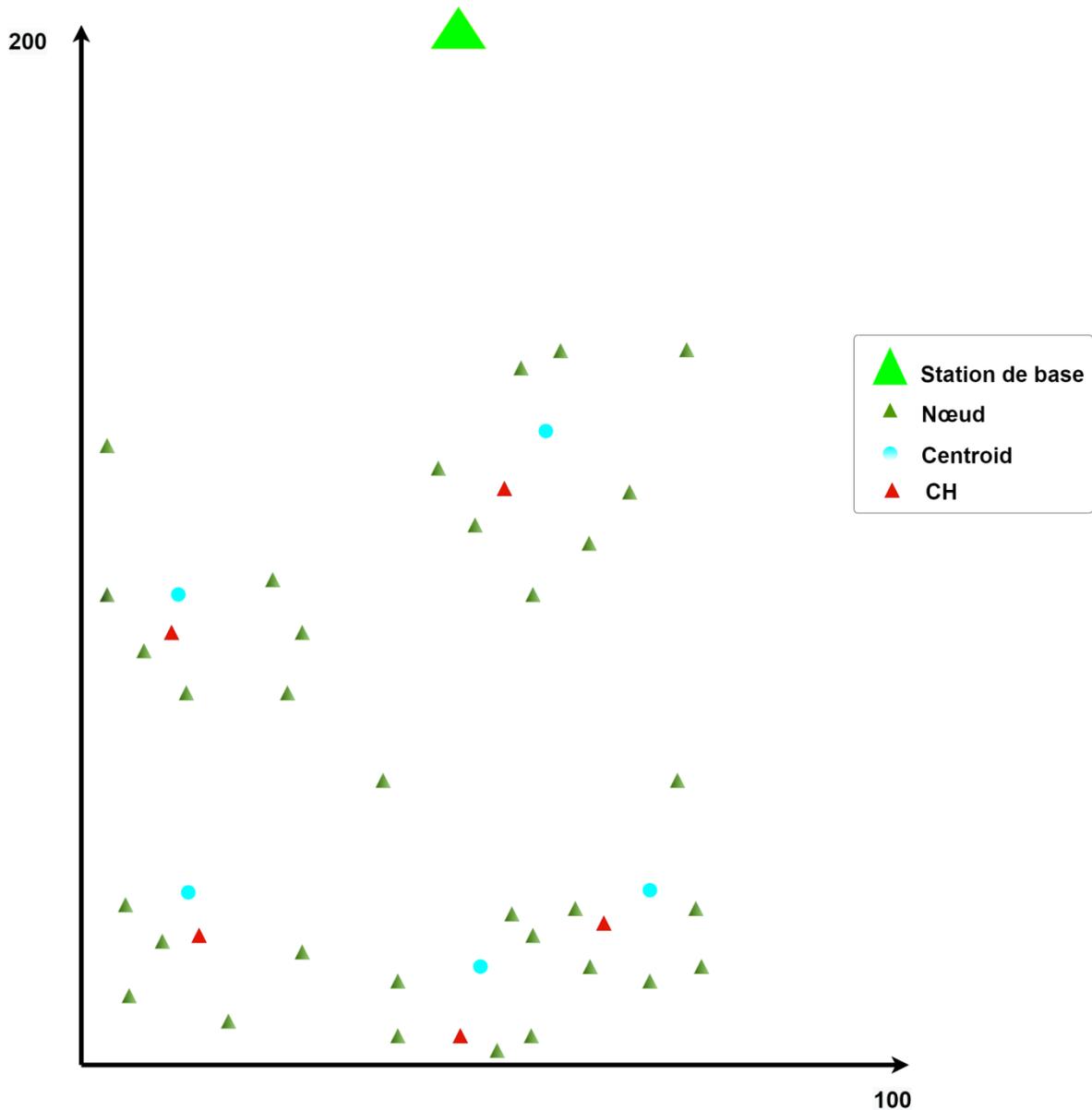


Figure 19 Election CHs a partir des nœuds les plus proche centroïdes proposés

Finalement les ensembles de clusters sont formés ou chaque nœud de cluster connaît leur CH.

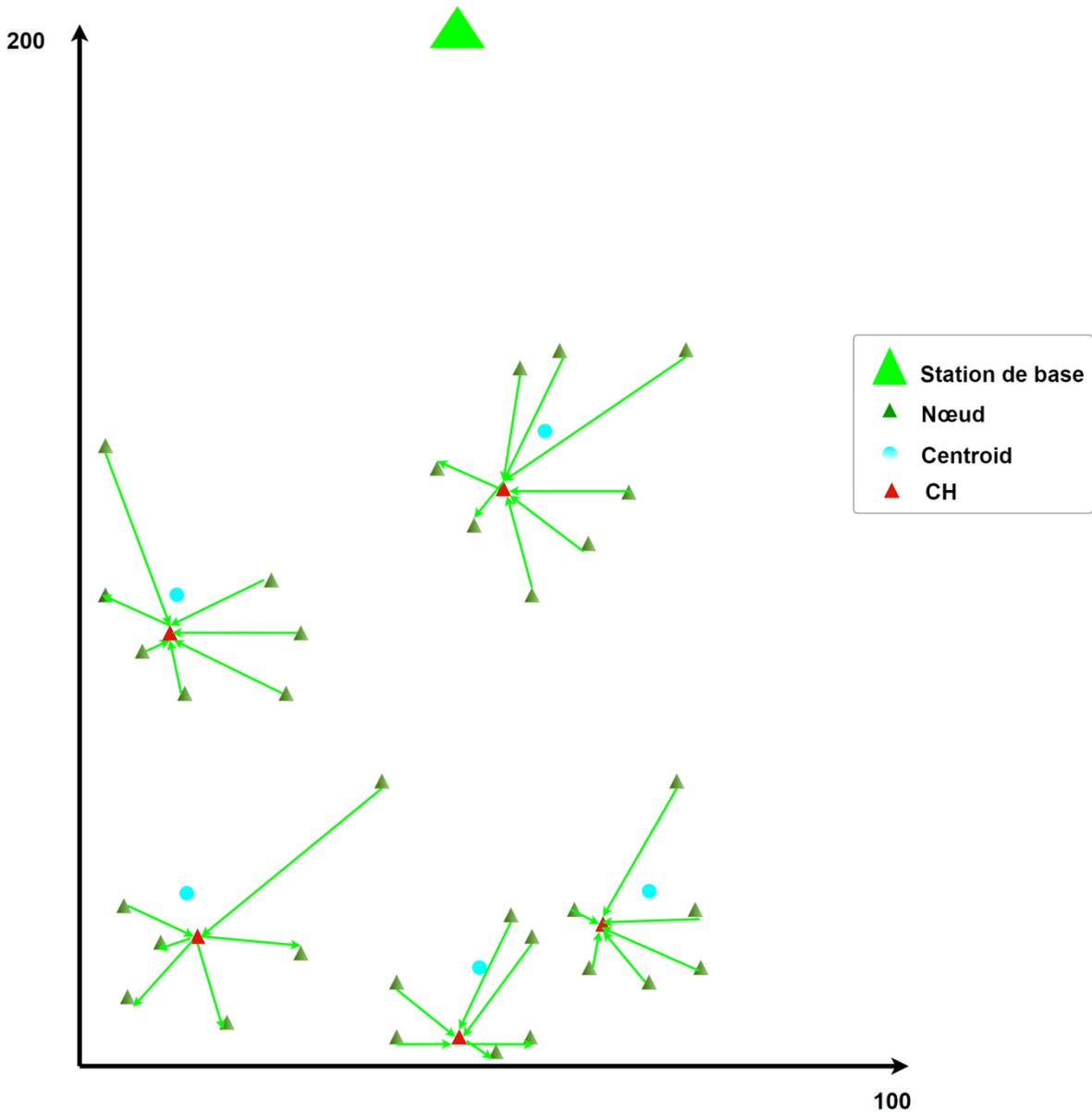


Figure 20 Formation de clusters par l'algorithme K-means

3.3.2 La phase de transmission

L'étape de transmission se compose de plusieurs itérations dans lesquelles les nœuds envoient leurs données collectées directement à la tête des clusters. Dans chaque itération, un nœud envoie au moins un paquet de données pendant son slot de temps alloué précédemment par son cluster-Head, Sachant que le slot de temps alloué à chaque nœud est constant, le temps de chaque itération de transmission va dépendre évidemment du nombre de nœuds existants dans chaque cluster. L'utilisation des TDMA va permettre aux nœuds de pouvoir éteindre leurs antennes radio jusqu'à le moment de transmission alloué.

Lorsque toutes les données ont été reçues, le cluster-Head exécute les fonctions du traitement du signal pour le compresser en un signal unique, ce dernier va l'envoyer à la station de base.

- ❖ **Relection Cluster-Head** :Après certin iteration de transmission quand le niveau d'énergie de **Energuy CH.ancien** \leq **MIN energie** , une phase de Relection de CH de ce Cluster basée sur la formule

$$\text{❖ } F(n) = \left\{ \begin{array}{l} \text{Energuy CH. ancien} \leq \text{MIN energie} \\ \text{Energynouveau CH} = \text{Max Energy}_{node i} \\ \text{Distance nouveau}_{CH} = \text{MIN Distance}_{node i} \end{array} \right\}$$

Où

- MIN .energie** : energie nécessaire d'envoi au Station Base 100 fois
- EnergynouveauCH** : l'énergie de nœud CH choisis avec le maximum d'énergie résiduelle parmi les nœuds appartient au Cluster .
- Distance nouveau_{CH}**: la distance de nœud CH choisis parmi les nœuds appartient au Cluster avec minimum distances euclidienne entre nœud et le centre de chaque cluster donné avec k-means.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, une adaptation de protocole LEACH à base de k-means a été proposée pour surmonter les désavantages de LEACH.

Notre adaptation du protocole LEACH concerne spécialement l'étape de clustering ou le choix de nombre de clusters et leurs CHs .Au lieu d'utiliser le choix aléatoire de cluster et leur CHs , on va utiliser le clustering on utilisant la méthode k-means et la distance entre les nœuds et l'énergie résiduel . Le clustering k-means est une méthode de qui donne une meilleur partition avec séparation des clusters. Dans le chapitre suivant, on évaluera l'adaptation avec une simulation MATLAB.

Chapitre 4 Simulation

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter le Scénario de simulation et ensuite, analyser les résultats des simulations le résultat et des expérimentations obtenus lors de l'implémentation de l'adaptation proposée pour la phase de clustering.

4.2 Choix du langage et de l'environnement d'implémentation

Les simulations ont été réalisées sur PC avec processeur Intel(R) Core (TM) i3-2348M CPU @ 2.30 GHz, RAM de taille 4 Go et système d'exploitation Windows 7 Professionnel N 64 bits. MATLAB (R2009a) est utilisé comme plate-forme de simulation.

Il existe plusieurs simulateurs, parmi lesquels on retrouve :

- **NS-3 (Network Simulator)** : NS-3 [55] est un simulateur réseau open source à événements discrets. Son noyau et ses modèles sont implémentés en C++, mais avec une interface de script Python. L'objectif de NS-3 est de développer un environnement de simulation ouvert pratique pour la recherche dans les réseaux. Les outils nam, ns3-viz associés au simulateur NS permettent la visualisation des animations issues de la simulation telle que le transfert et la taille des paquets échangés, l'état des files d'attentes, etc.....
- **OMNeT++** : tout comme NS-3, OMNeT++ [56] est un simulateur réseau à événements discrets programmé en C++. Il peut être utilisé dans les deux types de réseaux filaires et sans fil.
- **AVRORA** : AVRORA est [57] un simulateur spécialement conçu pour les RCSFs sous Java. Il offre une vaste gamme d'outils qui peuvent être utilisés dans la simulation des RCSFs. Cependant, ce dernier n'offre pas d'interface graphique.
- **Choix de Matlab** : Développé par la société MathWorks, MATLAB [58] est optimisé pour résoudre les problèmes scientifiques et techniques. C'est un langage basé sur les matrices, il allie mathématique, modélisation graphique et programmation. MATLAB dispose d'une large bibliothèque de fonctions intégrées et pré-écrites avec des notations simples et puissantes pour de nombreuses tâches de calculs communes. Ces fonctions peuvent être construites dans tous les langages de programmation, MATLAB permet de les retrouver dans un seul endroit.

Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique.

La simulation du protocole proposé requiert l'utilisation et la manipulation de vecteurs, de tableaux et de matrices. Le côté évaluation des performances quant à lui, requiert la génération de graphes, et donc l'utilisation des outils de traçage qu'offre MATLAB. Dans la simulation on utilisera la version R2009a (7.8.0.347) de MATLAB.

4.3 Simulation

Déploiement des nœuds capteurs

A titre d'exemple, 100 nœuds capteurs sont aléatoirement déployés sur une zone d'intérêt de 100m^2 de surface. La SB est positionnée aux coordonnées (5m, 20m). Initialement, il n'y a pas de CH, alors les nœuds sont tous de type normal.

Paramètre	Valeur conf 1
La taille du réseau.	10m x 10m
La localisation de la station de la base.	(5,20)
Le nombre des nœuds	100 N
L'énergie initiale des nœuds	0.12 J
Le nombre de cluster à créer avec K-means	5

Tableau 4 Les paramètres de simulation

Configuration du simulation k-means-Leach

Entrez xm:
100

Entrez ym:
100

Enter station de la base X:
5

Enter station de la base Y:
20

Enter le nombre de Nodes:
100

Enter le nombre de cluster a creer avec k-means:
5

Enter energie initiale:
0.12

pause secondes
0.1

OK Cancel

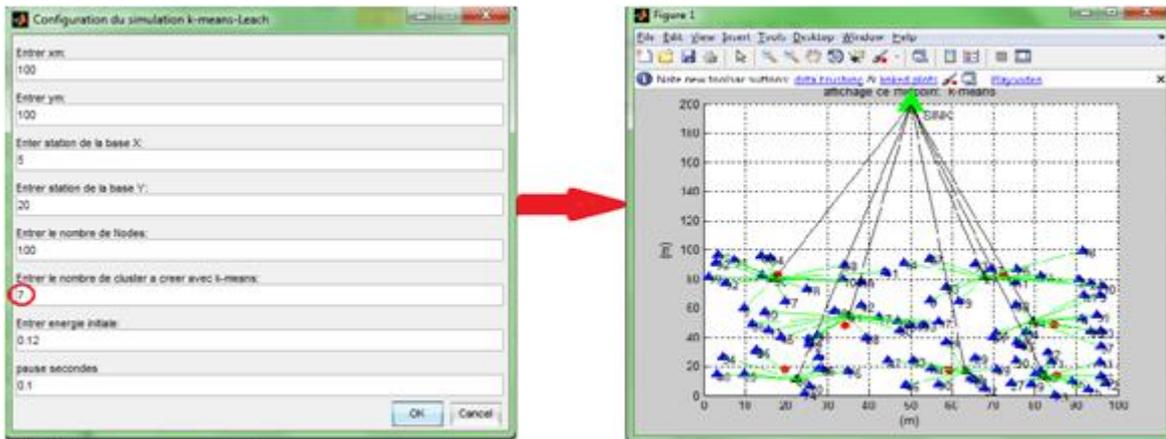
Figure 21 Les paramètres de simulation

- Chaque nœud dans le réseau va consommer de l'énergie dans le cas où il va transmettre des paquets de données ainsi que dans le cas où il reçoit des paquets de données sans oublier aussi le cas où il exécute des opérations de traitement de données (collecte et agrégation de données). On néglige l'énergie consommée lors des calculs simples et les mises à jour.
- Tous les nœuds du réseau commencent la simulation par énergie initiale égale à 0.12 J et une quantité de données illimitées à transmettre à la station de base, l'énergie de la station de base est illimitée. Chaque nœud consomme sa réserve d'énergie est considéré comme mort, il ne peut ni transmettre ni recevoir des données.
- On suppose que la probabilité de collision de signal et d'interférence dans le canal est ignorante et l'émetteur radio, l'amplificateur radio et l'unité de fusion de données sont les principaux consommateurs d'énergie d'un nœud capteur.

4.4 Résultats de simulation :

Dans cette simulation notre modèle d'expérimentation est établi 100 nœuds répartis aléatoirement sur une surface carrée de 10 x 10 m et une station de base (grand triangle vert) est présentée par la figure suivante :

K=7 :



K=15 :

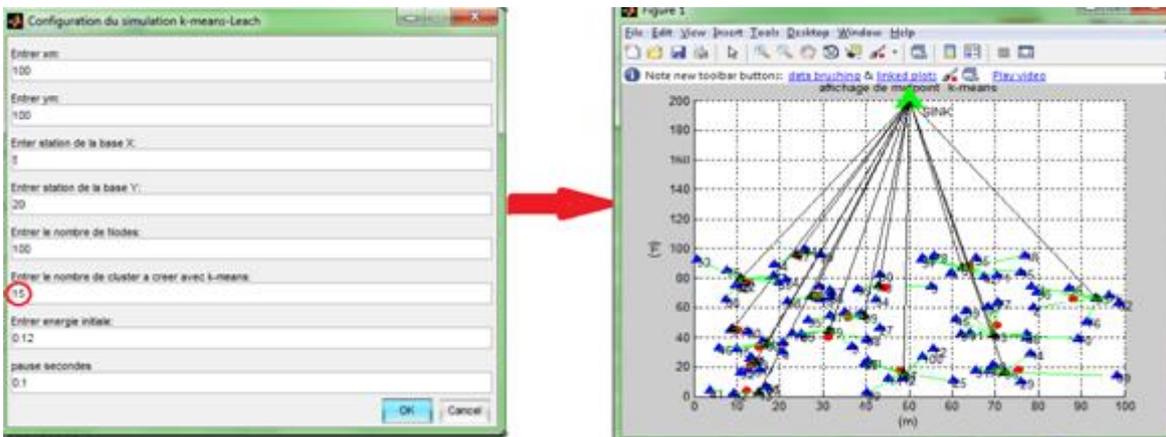


Figure 22 L'utilisation du valeur K pour la formation des clusters

Après la simulation de le protocole LEACH et l'adaptation proposé avec K-Means nous comparons les performances des deux protocoles par certaines métriques :

4.4.1 L'énergie résiduelle

La figure ci-dessous représente l'énergie résiduelle par rapport au nombre de tours pour les deux protocoles LEACH et K-MEANS_LEACH. Tous les deux protocoles ont montré une diminution progressive de l'énergie et la différence entre les deux protocoles

est acceptable. Cependant, K-MEANS_LEACH montrent une bonne d'amélioration dans la durée de vie avec les mêmes mesures,

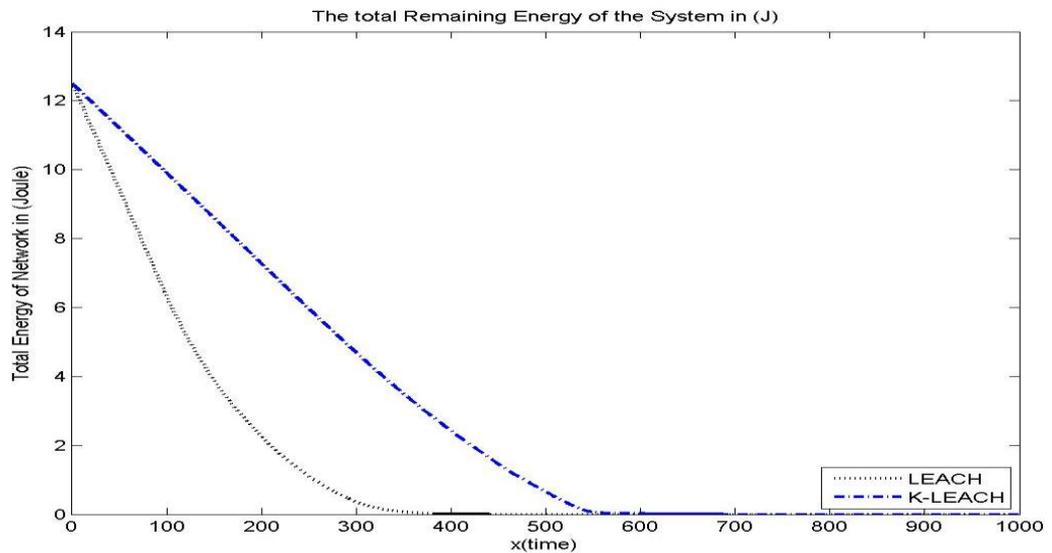


Figure 23 L'énergie résiduelle versus les rounds du Protocole LEACH et K-MEANS_LEACH

4.4.2 Comparaison de la durée de vie

La figure ci-dessous représente le nombre des nœuds mort dans les deux protocoles. On constate que dans LEACH une diminution très rapide dans le nombre des nœuds mort en fonction du nombre des rondes

- Le premier nœud mort dans la ronde Numéro : 97 et le dixième nœud mort dans la ronde 120 et tous les nœuds sont morts la Ronde 441. Ceci est ce qui provoque une durée de vie très court chez LEACH.
- Par contre dans K-MEANS_LEACH présente une durée de vie plus longue, avec une diminution lente dans le nombre des nœuds mort en fonction de la ronde ou La premier nœud mort dans la ronde Numéro :235 et le dixième nœud mort dans la ronde 337 et tous les nœuds sont morts la Ronde 689.

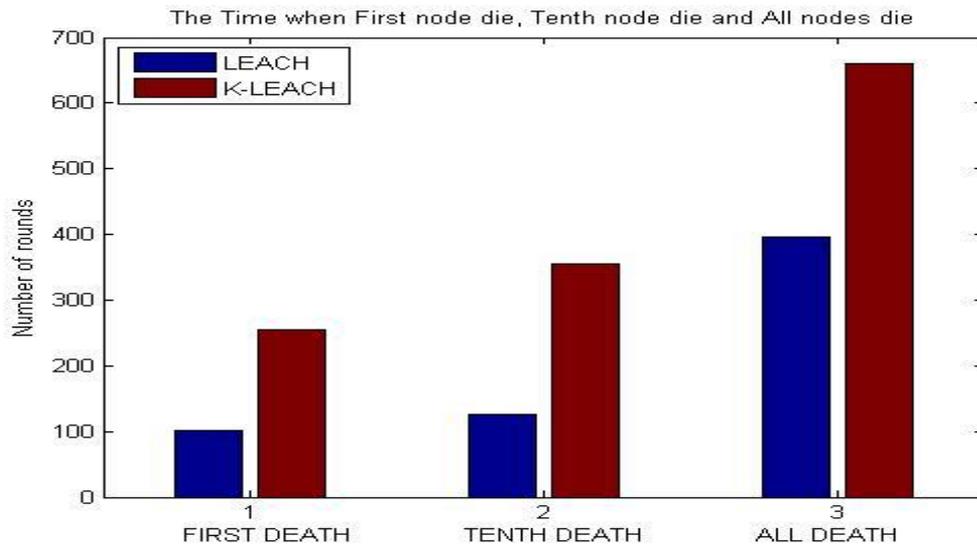


Figure 24 Nombre des nœuds mort « premier, dixième, dernier »

La figure ci-dessous représente le nombre des morts nœuds dans les deux protocoles.

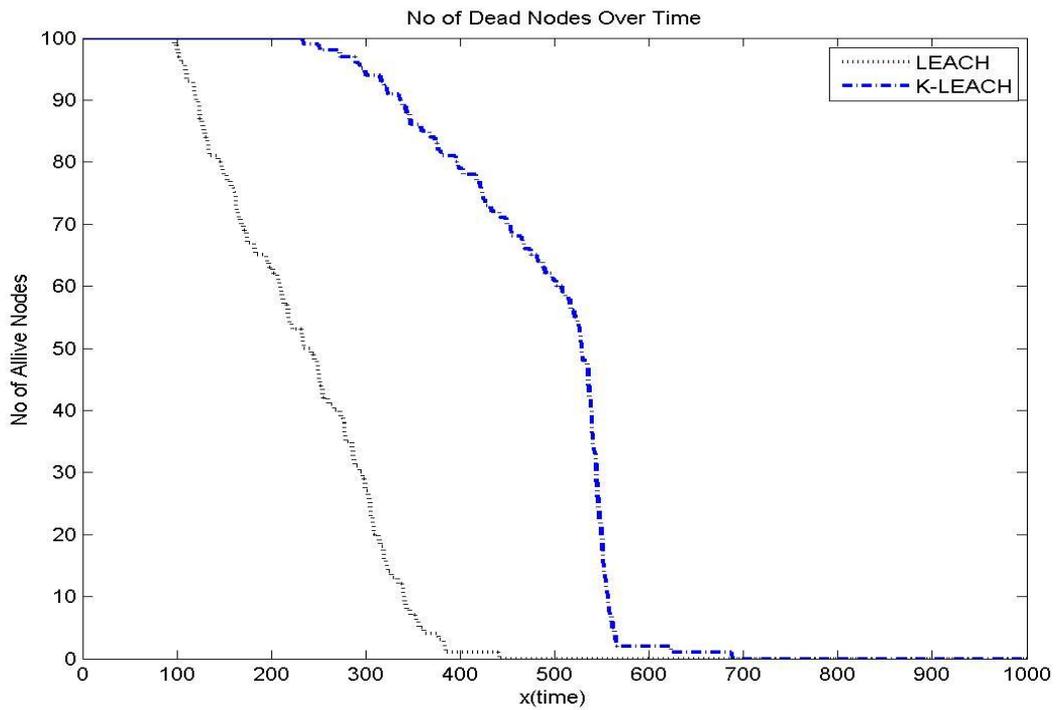


Figure 25 Nombre de morts nœuds versus round

La figure ci-dessous représente le nombre des vives nœuds dans les deux protocoles.

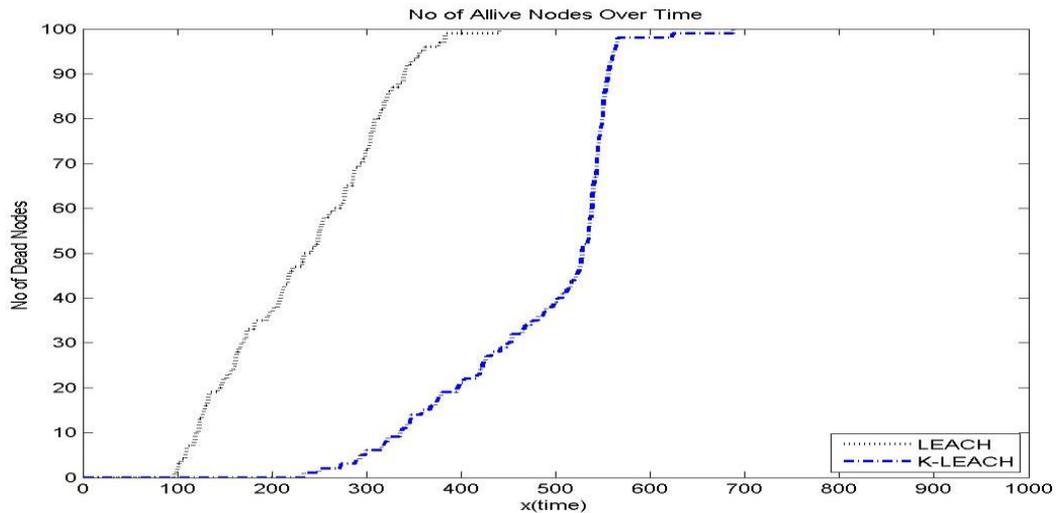


Figure 26 Nombre de vive nœuds versus round

4.4.3 Comparaison de nombres de CH

La figure ci-dessous représente le nombre de CHs dans les deux protocoles. On constate que dans LEACH a un nombre élevé de CHs qui implique une consommation élevée d'énergie par contre par contre dans K-MEANS_LEACH un nombre fixe de CH $k=10$ va mort lentement. Le K-MEANS_LEACH assurer une bonne distribution des CH sur le réseau. Dans l'autre côté, LEACH présente une variation énorme dans le nombre des CH par round, cela conduit à une mauvaise couverture du réseau, Et affecte la durée de la vie globale du réseau.

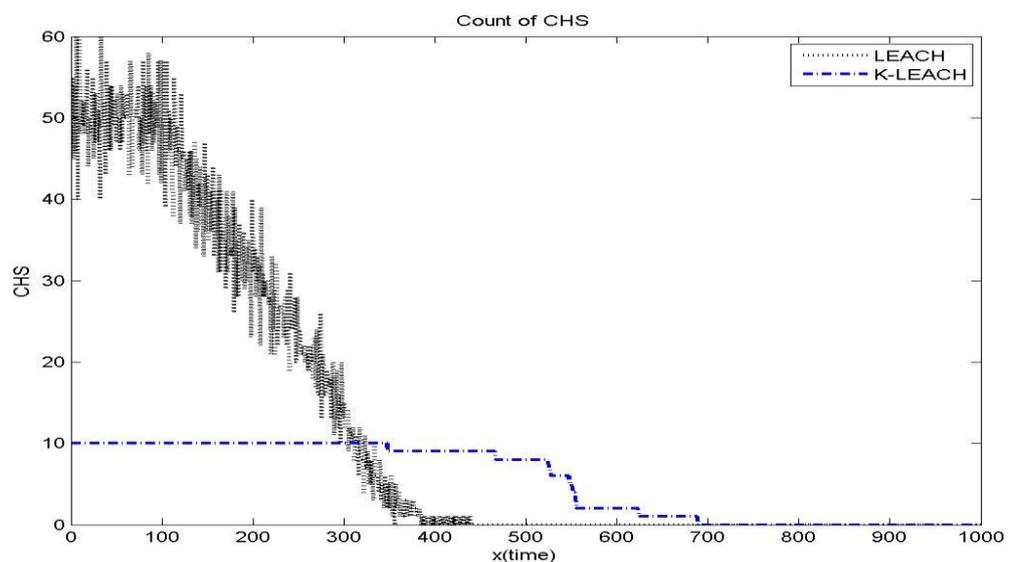


Figure 27 Nombre de CHs nœuds versus round

4.4.4 Comparaison des données reçues

La figure ci-dessous représente une comparaison entre les deux protocoles En termes de quantité de données reçues par la station de base, qui est exprimée en fonction du nombre de paquets envoyés par les nœuds vers la station de base, le graphe ci-dessous montre que le protocole K-MEANS_LEACH , assure une agrégation des de données ce qui offre une amélioration significative dans le nombre des données reçus dans le réseau.

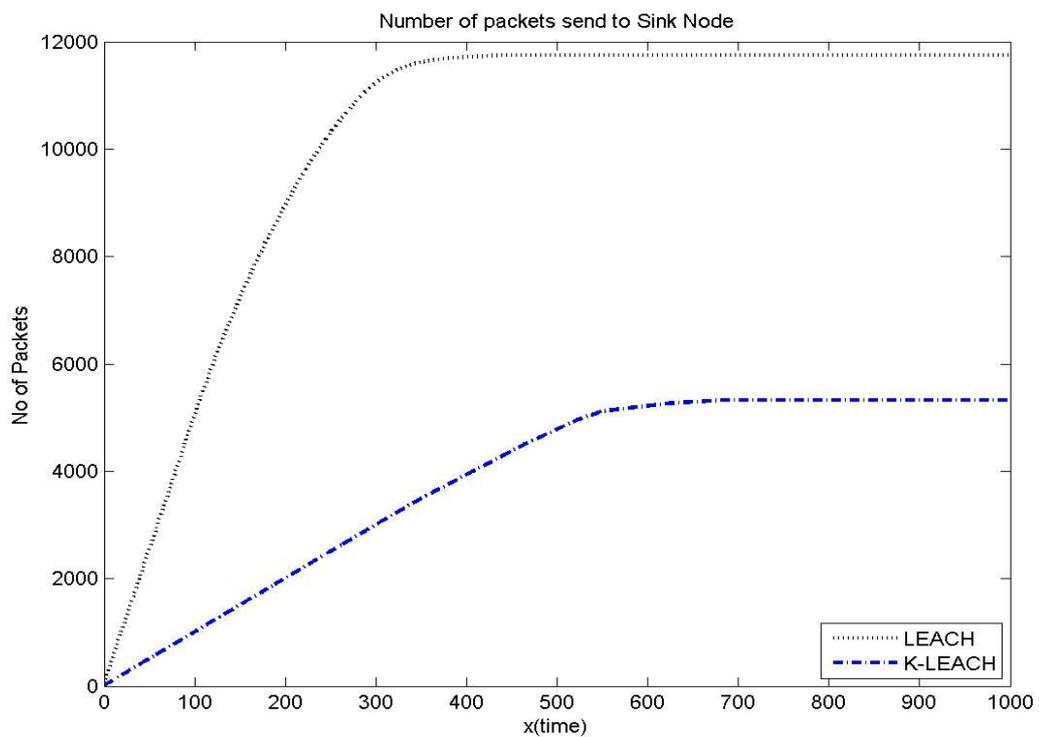


Figure 28 Les Données Reçus du Protocole LEACH et K-MEANS_LEACH

Après avoir comparé les performances des deux protocoles LEACH et K-MEANS_LEACH, nous avons remarqué que l'adaptation de K-MEANS_LEACH présente plusieurs avantages tels que :

- La diminution dans la consommation d'énergie.
- Une durée de la vie plus longue au cours de la simulation avec une bonne distribution des CH grâce à la méthode k-means.

4.5 Conclusions

Les résultats de simulation prouvent que l'adaptation du protocole LEACH avec la méthode de clustering K-Means capable de prolonger la durée de vie du réseau et améliore l'efficacité énergétique, ce qui augmente le taux de survie des nœuds et ses performances dépassent celles de LEACH en termes de quantité de données transmises à la station de base et la durée de vie de réseaux.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons vu le domaine de RCSF et ses applications et ses problèmes à traiter. Nous avons étudié les protocoles de routage hiérarchique et comprendre bien le fonctionnement de protocole LEACH et faire une synthèse des protocoles successeurs de LEACH pendant les dix ans derniers.

Nous avons simulé le fonctionnement du protocole LEACH avec une adaptation au niveau de phase de clustering par l'ajout de K-means et le compare avec le protocole LEACH de base. La simulation montre que K-MEANS_LEACH donne des bons résultats dans la plupart des cas, une consommation énergétique très réduite, et par conséquent une prolongation la durée de vie de réseau.

Enfin, comme perspectives nous envisageons d'améliorer les performances de notre adaptation on ajoute.

- Une transmission multi-hop dans la phase de transmission.
- On continuera l'amélioration de la fonction de choix de CH pour obtenir des meilleurs résultats et comparer notre protocole avec des autres protocoles.
- Réaliser une application de control enivrement on utiliser cette adaptation.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] S. Kaissari, "*Conception d'un Réseau de Capteurs sans Fil*", Mémoire de Master, Département Génie électrique, University Mohammed V in Rabat, 6 juillet 2015.
- [2] M. Sara, K. Chahinez, M.Nour-Houda, H. Karima, "*Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil*", Licence 3 : GTR, Université Houari Boumediene, Promotion 2013-2014.
- [3] M. GHEBBI Sofiane, "*Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs sans fil*", MEMOIRE DE MASTER en Informatique, Université A/Mira de Béjaïa, 27 Juin 2016
- [4] B. Djallel Eddine, "*Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil*", Mémoire de magistère en Informatique, Université de l'Hadj Lakhdar-Batna, Promotion 2007-2008.
- [5] D. Eya, "*Routage avec QoS temps réel dans les réseaux de capteurs*", Rapport de projet de fin d'études, École supérieure des communications, Tunis, 2007.
- [6] B. Massine, I. Dalile, "*Etude et évaluation des performances des algorithmes de couverture minimale dans un réseau de capteurs sans fil*", Mémoire de Master En Recherche Opérationnelle Spécialité: Fiabilité et Evaluation des Performances des réseaux, Université A/Mira de Béjaïa, Promotion 2012/2013.
- [7] B. NADIA, "*Approche distribuée pour la sécurité d'un réseau de capteurs sans fils (RCSF)*", Université de Bechar - Ingénieur d'état en informatique 2010.
- [8] H. Hichem, K. Imen, "*Etude et proposition d'un modèle d'économie d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil : Application médicale sportive*", Mémoire Master en Informatique, 26 septembre 2012.
- [9] S.R.Jino Ramson et D.Jackuline Moni, "*Applications of wireless sensor networks — A survey*", Proceedings of IEEE International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology ICIEEIMT, DOI: 10.1109/ICIEEIMT.2017.8116858, November 2017.
- [10] A. Bagula, "*APPLICATIONS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS*", UCT, WSN applications – February 2012.
- [11] J.N Al-Karaki and A. E. Kamal, "*Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey*", Magazine: IEEE Communications, vol. 11, no. 6, pp. 6-28, December 2004.
- [12] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal. Teen, "*a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks*", In Proceedings of the 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium, pages 30189a–30189a, 2001.

- [13] D. Bhattacharyya, T. Kim, and S. Pal, “*A comparative study of wireless sensor networks and their routing protocols*”, *Sensors* 2010, 10, pages: 10506-10523; doi:10.3390/s101210506, 24 Novembre 2010.
- [14] D. Niculescu, “*Topics In Ad-Hoc Networks: Communication Paradigms for Sensor Networks*”, NEC Laboratories America, *IEEE Communications Magazine*, Mars 2005.
- [15] A. Braman and G. Umapathi, “*A comparative study on advances in leach routing protocol for wireless sensor networks : A survey*”, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 3(2) : pages 5683–5690, 2014.
- [16] Y. Younes, “*Minimisation d’énergie dans un réseau de capteurs*”, Mémoire de Master, Département d’Informatique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Septembre 2012.
- [17] M. Amina, “*Etude comparative entre les deux protocoles de routage LEACH et PEGASIS dans les réseaux de capteurs sans fil*” Mémoire de Master, Département de télécommunication, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Mai 2015.
- [18] L. VILLALBA, A. OROZCO, A. CABRERA, C. ABBAS, “*Routing Protocols in Wireless Sensor Networks*”, *Sensors* 2009, Vol: 9, Issue: 11 8399-8421, ISSN 1424-8220, 2009.
- [19] I. AKYILDIZ, M. VURAN, “*Wireless Sensor Networks*”, John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- [20] Y. Yaser, “*Routage pour la Gestion de l’Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil*”, Thèse de Doctorat, université de Haute Alsace, 08 juillet 2010.
- [21] R. Fatima Zohra “*Evaluation de LEACH dans un environnement fortement bruité Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D)* ” Mémoire de Master, Département d’Informatique, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, Juin 2015.
- [22] W. Heinzelman, “*Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Network*”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Massachusetts Institute of Technology, June 2000.
- [23] F. Al-Maaqbeh, O. Banimelhem, E. Taqieddin, F. Awad, and M. Mowafi, “*Fuzzy logic based energy efficient adaptive clustering protocol*” in *Proc. 3rd Int. Conf. Inf. Commun. Syst.*, 2012, pp. 21:1–21:5
- [24] M. O. Farooq, A. B. Dogar, and G. A. Shah, “*MR-Leach: Multi-hop routing with low energy adaptive clustering hierarchy*” in *Proc. 4th Int. Conf. Sensor Technol. Appl. (SENSORCOMM)*, Jul. 2010, pp. 262–268.

- [25] V. Katiyar, N. Chand, G. C. Gautam, and A. Kumar, “*Improvement in LEACH protocol for large-scale wireless sensor network,*” in Proc. Int. Conf. Emerg. Trends Electr. Comput. Technol. (ICETECT), Mar. 2011, pp. 1070–1075.
- [26] J. L. Liu and C. V. Ravishankar, “*LEACH-GA: Genetic algorithmbased energy-efficient adaptive clustering protocol for wireless sensor networks*” Int. J. Mach. Learn. Comput., vol. 1, no. 1, pp. 79–85, 2011.
- [27] A. Yektaparast, F. H. Nabavi, and A. Sarmast, “*An improvement on LEACH protocol (cell-leach)*” in Proc. Adv. Commun. Technol. (ICACT), Feb. 2012, pp. 992–996.
- [28] J. Gnanambigai, N. Rengarajan, and K. Anbukkarasi, “*Q-Leach: An energy efficient cluster based routing protocol for wireless sensor networks*” in Proc. 7th Int. Conf. Intell. Syst. Control (ISCO), Jan. 2013, pp. 359–362.
- [29] Ch. FU1,Z. JIANG1,W. WEI2and A. WEI, “*An Energy Balanced Algorithm of LEACH Protocol in WSN*”, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 10, Issue 1, No 1, January 2013.
- [30] H. M. Abdulsalam and L. K. Kamel, “*W-LEACH: Weighted low energy adaptive clustering hierarchy aggregation algorithm for data streams in wireless sensor networks*” in Proc. IEEE Int. Conf. ICDMW, Dec. 2010, pp. 1–8.
- [31] S. Cho, L. Han, B. Joo, and S. Han, “*P-LEACH: An efficient clusterbased technique to track mobile sinks in wireless sensor networks*” Int. J. Distrib. Sensor Netw., vol. 2014, pp. 1–10, Sep. 2014.
- [32] G. S. Arumugam and T. Ponnuchamy, “*EE-Leach: Development of energy-efficient LEACH protocol for data gathering in WSN*” EURASIP J. Wireless Commun. Netw., vol. 2015, no. 1, pp. 1–9, 2015.
- [33] P. K. Batra and K. Kant, “*LEACH-MAC: A new cluster head selection algorithm for wireless sensor networks*” Wireless Netw., vol. 22, no. 1, pp. 49–60, 2016.
- [34] W. Jerbi, A. Guerhazi, and H. Trabelsi, “*O-LEACH of routing protocol for wireless sensor networks*” in Proc. 13th Int. Conf. Comput. Graph., Imag. Vis (CGiV), Mar. 2016, pp. 399–404.
- [35] A. Bouriden, A. Aharoune, A. Toumanari, “*Leach-D Protocol for Efficient Communication in Mobile Wireless Sensor Networks*”, IJCSN – International Journal of Computer Science and Network, Volume 8, Issue 4, August 2019.
- [36] P. Rawat, S. Chauhan, “*Performance Analysis of RN-LEACH Protocol over LEACH Protocol*”, International Journal of Future Generation Communication and Networking Vol. 11, No. 5, pp.1-10, 2018.

- [37] X. Cai, S. Geng, D. Wu, L. Wang, Q. Wu, “ *A unified heuristic bat algorithm to optimize the LEACH protocol*” *Concurrency Computat Pract Exper*, e5619 DOI: 10.1002/cpe.5619,
- [38] A. Takele, T. Ali, K. Yetayih, “*Improvement of LEACH Protocol for Wireless Sensor Networks*”, Springer Nature Switzerland AG 2019 F. Mekuria et al. (Eds.): ICT4DA 2019, CCIS 1026, pp. 250–259, 2019.
- [39] A. Kirsan, M. U. Al Rasyid, I. Syarif, “*Efficient Energy for Cluster Head Selection using New LEACH-based routing protocol in Wireless Sensor Network*”, 978-1-7281-4449-8/19/\$31.00 ©2019 IEEE.
- [40] K. Suwandhada and K. Panyim ,“*ALEACH-Plus: An Energy Efficient Cluster Head Based Routing Protocol for Wireless Sensor Network*”, The 2019 International Electrical Engineering Congress (iEECON2019).
- [41] Tilak S. Rajput, Mousami S. Vanjale, ” *Implementation of IMHT LEACH Protocol for WSN*”, 2019 The Author (s); Helix E-ISSN: 2319-5592; P-ISSN: 2277-3495.
- [42] Eyman F. Ahmed , M. Omar, T. Wan, and A. Altahir, “*EESRA: Energy Efficient Scalable Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks*”, DOI 10.1109/ACCESS.2019.2929578, IEEE Access.
- [43] I. DAANOUNE, A. BAGHDAD, A. BALLLOUK, “*BRE-LEACH: A new approach to extend the lifetime of Wireless Sensor Network*”, 978-1-7281-0003-6/19/\$31.00 ©2019 IEEE.
- [44] L. Zhou, Y. Fang, Q. Wei, Y. Jin, Z. Hu, “*LEACH-TLC: a strategy of reducing and uniform energy consumption based on target location constraint*”, The Institution of Engineering and Technology 2019 IET Wirel. Sens. Syst., Vol. 9 Iss. 6, pp. 347-357, 2019.
- [45] Mehdi Masoodi, Mohsen Maesoumi, Ehsan Akbari Sekehravani, “*Efficient Modified-LEACH Protocol for Enhancing WSNs Lifetime*”, *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, Vol. 8, No. 4, December 2019.
- [46] K. Arai, R. Bhatia Editors, “*Advances in Information and Communication*”, *Proceedings of the 2019 Future of Information and Communication Conference (FICC)*, Volume 2, 123 Editors Kohei Arai Faculty of Science and Engineering Saga University Saga, Japan Rahul Bhatia The Science and Information (SAI) Organization Bradford, UK ISSN 2367-3370 ISSN 2367-3389 (electronic) *Lecture Notes in Networks and Systems* ISBN 978-3-030-12384-0 ISBN 978-3-030-12385-7 (eBook).
- [47] F. Bouakkaz, M.Derdour “*Taxonomy of Partitioning Clustering Algorithms in WSNs*”, *Conference on Innovative Trends in Computer Science* November 20-21 (2019).

- [48] S. Singh and G. Singh. "An Energy Threshold based WSN Clustering Schema using PAM Algorithm". 434 International Journal of Current Engineering and Technology, Vol.5, No.1 (Feb 2015)
- [49] A. Sheta and B. Solaiman, "Evolving a Hybrid K-Means Clustering Algorithm for Wireless Sensor Network Using PSO and GAs," Int. J. Comput. Sci. Issues, vol. 12, no. 1, pp. 23–32, 2015.
- [50] A. Ray and D. De, "Energy efficient clustering protocol based on K-means (EECPK-means)-midpoint algorithm for enhanced network lifetime in wireless sensor network," IET Wirel. Sens. Syst., vol. 6, no. 6, pp. 181–191, 2016.
- [51] R. ELkamel and A. Cherif, "Energy-efficient routing protocol to improve energy consumption in wireless sensors networks," Int. J. Commun. Syst., vol. 30, no. 17, p. e3360, 2017.
- [52] L. Li and D. Li, "An Energy-Balanced Routing Protocol for a Wireless Sensor Network," J. Sensors, vol. 2018, pp. 1–12, 2018.
- [53] B. Barekatin, S. Dehghani, and M. Pourzaferani, "An EnergyAware Routing Protocol for Wireless Sensor Networks Based on New Combination of Genetic Algorithm & k-means," Procedia Comput. Sci., vol. 72, pp. 552–560, 2015.
- [54] <https://le-datascientist.fr/k-means>.
- [55] Ns-3. <https://www.nsnam.org/overview/what-is-ns-3/>. Consulté le: 15-05-2020
- [56] Omnet++. <https://omnetpp.org/>. Consulté le : 15-05-2020.
- [57] Avrora. <http://compilers.cs.ucla.edu/avrora/>. Consulté le : 15-05-2020.
- [58] Matlab. <http://fr.mathworks.com/products/matlab/>. Consulté le : 15-05-2020.