



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique

Université Larbi Tébessi - Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Mathématiques et Informatique



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de *MASTER*

Domaine : Mathématiques et Informatique

Filière : Informatique

Option : Réseaux et Sécurité Informatique

Thème

**LA MAXIMISATION DE LA DURÉE DE VIE DES
RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL À BASE DE
FUZZY CMEANS**

Présenté Par :

HASNAOUI Isra

Devant le jury :

M^{me} BOUAKKAZ Fatima *MAA* *Université Larbi Tébessi* *Encadreuse*

Dr ALI Widad *MCB* *Université Larbi Tébessi* *Président*

Dr DAOUADI Kheir Eddine *MAA* *Université Larbi Tébessi* *Examineur*

Date de soutenance : Juin 2022

Résumé

Le réseau de capteurs sans fil consiste en de nombreux capteurs avec des ressources énergétiques limitées, ce qui constitue un réel problème pour ce réseau. Dans cette étude, nous adapterons l'un des protocoles de routage les plus courants pour la communication de données dans les réseaux de capteurs sans fil, Hiérarchie adaptative à faible consommation d'énergie (LEACH). La version adaptée s'appelle "F_LEACH", utilise la méthode Fuzzy C-means pour la phase de clustering pour prolonger le cycle de vie du réseau plus que le protocole d'origine LEACH et d'autre protocole qui s'appelle K-LEACH. L'algorithme proposé a été simulé avec MATLAB dans le but de vérifier l'efficacité de l'amélioration de la durée de vie de ce réseau.

Les résultats de la simulation ont confirmé que l'adaptation F-LEACH fonctionnait mieux que les protocoles LEACH et K-LEACH et la durée de vie du réseau s'est améliorée.

Les mots clés : Réseau de capteurs sans fil, LEACH, Fuzzy C-means.

Abstract

The wireless sensor network consists of a large number of small sensor nodes with limited energy resources, which is the real problem for this network. In this study, we will adapt one of the most common routing protocols for data communication in wireless sensor network: LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy). The modified version of the basic LEACH version, is called "F-LEACH", uses Fuzzy C-means for the clustering phase to extend the life of the network more than the original protocol LEACH and another protocol called K-LEACH. The proposed modification was simulated with MATLAB with the aim to verify the effectiveness of improving the lifetime of this network.

The results of the simulation confirmed that the F-LEACH adaptation worked better than the LEACH and K-LEACH protocols and the life of the network improved.

Keywords: Wireless sensor network, LEACH, Fuzzy C-means.

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 تعديلات لأحد خوارزميات التوجيه الأكثر شيوعاً في شبكة المستشعرات اللاسلكية : التسلسل الهرمي التكيفي مع استهلاك منخفض للطاقة LEACH تستخدم النسخة المعدلة من إصدار LEACH الأساسي التي سميت بـ F-LEACH طريقة Fuzzy C-means لتجميع المستشعرات في مجموعات بهدف إطالة عمر الشبكة أكثر من البروتوكول الأصلي LEACH و بروتوكول آخر يدعى K-LEACH. 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.

الكلمات المفتاحية : شبكة الاستشعار اللاسلكية, LEACH , Fuzzy C-means.

Remerciement

Avant toute chose nous remercions le bon Dieu, le tout-puissant, le

Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de faire ce travail.

Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements aux personnes qui m'ont aidée et contribué à l'élaboration de ce travail et à la réussite de cette belle année universitaire.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreuse Madame

BOUAKKAZ Fatima, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses conseils avisés m'ont aidée à alimenter ma réflexion. Et pour le temps qu'il a consacré soucieux de me fournir les outils méthodologiques nécessaires à la conduite de cette recherche.

Nous remercions aussi tous les membres du jury d'avoir accepté de participer à l'évaluation de notre travail.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à toute l'équipe pédagogique et administrative du master académique en informatique spécialité : Réseaux et sécurité informatique.

Enfin, je tiens à exprimer ma plus sincère gratitude à toute ma famille et mes amis qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de ma réalisation de ce mémoire.

Table des matières

Table des matières	V
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Liste des abréviations	VIII
Introduction Générale.....	1
Chapitre 1: Les Réseaux De Capteurs Sans Fil.....	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Histoire et définition de réseau de capteurs sans fil.....	3
1.3 Un capteur.....	3
1.3.1 Unité de captage.....	4
1.3.2 Unité de traitement.....	4
1.3.3 Unité de communication.....	4
1.3.4 Unité d'énergie.....	5
1.4 Pile protocolaire.....	5
1.5 L'architecture des réseaux de capteurs sans fil.....	6
1.6 Types d'architectures des réseaux de capteurs sans fil.....	7
1.7 Les Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil.....	8
1.8 Domaines d'application RCSF.....	8
1.9 Défis des réseaux de capteurs sans fil.....	11
1.10 Conclusion.....	12
Chapitre 2 : État De L'art	13
2.1 Introduction.....	13
2.2 La consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil.....	13
2.3 Les causes de gaspillage d'énergie.....	14
2.4 Clustering dans les réseaux de capteurs sans fil.....	15
2.4.1 Définition de clustering.....	15
2.4.2 Caractéristique de clustering.....	15
2.4.3 Propriétés des clusters.....	16
2.4.4 Propriétés CH.....	17
2.4.5 Caractéristiques du processus de clustering.....	17
2.5 Définition de clustering partitionnel.....	18
2.6 Les types de clustering partitionnel.....	18
2.7 La méthode de Fuzzy Cmeans.....	18
2.7.1 Principe de FCM.....	18

2.7.2 Les étapes de l'algorithme FCM.....	19
2.8 Les travaux connexes.....	20
2.9 Discussion.....	27
2.10 Conclusion.....	28
Chapitre 3 : Contribution	29
3.1 Introduction.....	29
3.2 Le protocole de routage LEACH.....	29
3.2.1 Principe de fonctionnement de LEACH.....	29
3.3 Adaptation proposée.....	30
3.4 Modèle de système de base.....	31
3.4.1 La phase d'initialisation.....	33
3.4.2 La phase de transmission.....	37
3.5 Conclusion.....	38
Chapitre 4 : Simulation Et Analyse Des Performances	39
4.1 Introduction.....	39
4.2 Choix du langage et de l'environnement d'implémentation.....	39
4.3 Simulation.....	39
4.4 Résultats de simulation.....	40
4.4.1 L'énergie résiduelle.....	41
4.4.2 Comparaison de la durée de vie.....	42
4.4.3 Comparaison de nombres de CH.....	44
4.4.4 Comparaison des données reçues.....	45
4.4.5 Discussion.....	45
4.5 Conclusion.....	46
Conclusion Générale	47
Bibliographe	49

Liste des figures

Figure 1.1 Composants d'un capteur [2].....	4
Figure 1.2 Pile protocolaire d'un capteur [4]	6
Figure 1.3 Les composants de réseau de capteurs sans fil [5].....	7
Figure 1.4 Architectures adoptées pour les réseaux de capteurs [6]	7
Figure 1.5 RCSF pour les soins médicaux pour surveiller l'activité de personnes âgées dans une maison de repos [10].....	9
Figure 1.6 Delft Deployment pour surveiller la qualité de l'eau dans l'environnement [10].....	9
Figure 1.7 Contrôle des structures Golden Gate Bridge [10]	9
Figure 1.8 Déploiement RCSF sur un volcan actif, Tungurahua, Équateur [10]	10
Figure 1.9 ZebraNet une application pour suivre les zèbres sur le terrain Princeton, (2004) [10].....	10
Figure 1.10 Smart Parking suivi le flux et la congestion du trafic automobile pour des systèmes routiers efficaces dans les villes [10]	11
Figure 2.1 Modèle de consommation d'énergie [12]	14
Figure 2.2 Les caractéristiques de clustering de RCSF [18]	16
Figure 2.3 Organigramme de l'algorithme FCM [25].....	20
Figure 3.1 Les deux phases d'amélioration proposée	32
Figure 3.2 Organigramme de FCM proposée	33
Figure 3.3 Organisation des nœuds dans l'adaptation proposée	34
Figure 3.4 Résultat de FCM ensembles des centroïdes	35
Figure 3.5 Élection CHS à partir des nœuds les plus proches centroïdes proposés ...	36
Figure 3.6 Formation de clusters par l'algorithme FCM	37
Figure 4.1 Les paramètres de simulation.....	40
Figure 4.2 L'utilisation de la valeur K pour la formation des clusters.....	41
Figure 4.3 L'énergie résiduelle versus les rounds des protocoles LEACH, K-LEACH et F-LEACH	42
Figure 4.4 Nombre des noeuds mort " premier, dixième, dernier ".....	43
Figure 4.5 Nombre de morts nœuds versus round.....	43
Figure 4.6 Nombre de vifs nœuds versus round.....	44
Figure 4.7 Nombre de CHs noeuds versus round.....	45
Figure 4.8 Les données reçues du protocole LEACH, K-LEACH, F-LEACH.....	45

Liste des tableaux

Tableau 2-1 Les travaux connexes sur FCM.....	26
Tableau 4-1 Les paramètres de simulation.....	39

Liste des abréviations

- **RCSFs:** Les réseaux de capteurs sans fil
- **SOSUS:** Le Sound Surveillance System
- **RAM:** Random Access Memory
- **OSI:** Open Systems Interconnection
- **FCM:** Fuzzy Cmeans
- **CH:** Cluster head
- **SB:** Station de base
- **LEACH:** Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
- **HEED:** Hybrid Energy Efficient Distributed
- **MR-LEACH:** Multi-hop Routing with Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
- **TDMA:** Temporal Division Multiple Access
- **MATLAB:** MAtrix lAboratory
- **GPS:** Global Positioning System

Introduction Générale

Introduction Générale

Contexte

Récemment, les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSFs) sont devenues un domaine de recherche attirant, en raison du rôle crucial joué dans plusieurs applications comme la surveillance de l'environnement, l'étude de l'habitat, la surveillance militaire, les maisons intelligentes et l'observation des patients. Grâce à leurs propriétés, le réseau de capteurs sans fil est devenu un élément important de notre vie quotidienne.

Toutefois, il subsiste quelques obstacles avant qu'elle devienne une technologie mature. La consommation d'énergie est le critère influé directement à la durée de vie d'un réseau de capteurs car les capteurs sont généralement alimentés par une batterie. Parfois, l'amélioration de consommation de l'énergie est plus compliquée dans les RCSFs car elle impliquait non seulement une réduction de l'énergie consommée, mais aussi une augmentation de la vitalité de réseau. Les chercheurs sont invités à concevoir des protocoles efficaces sur le plan énergétique tout en réalisant les opérations de réseau. Dans les RCSFs le clustering est un moyen efficace d'apaiser l'énergie consommée. Le clustering avec Fuzzy C-Means peut faire une amélioration remarquable dans la durée de vie réseaux.

Contribution

Dans ce contexte et afin de traiter à toutes les contraintes décrites précédemment. Il est connu que l'énergie consommée est le problème signifiant des réseaux de capteurs multimédia sans fil qui affecte directement sur leurs performances. Les motivations de cette mémoire sont liées justement à l'énergie dans les dés réseaux de capteurs sans fil.

Nous présentons une amélioration du protocole « LEACH » dans la phase de clustering avec l'utilisation Fuzzy C-Means au lieu le choix aléatoire de Cluster Head utilisé dans LEACH. Cette amélioration augmente la durée de vie de réseaux et minimise la consommation d'énergie pour chaque nœud. Notre contribution garantit les caractéristiques suivantes :

- Le choix de CHS est à base de minimum distances et la maximum énergie résiduelle.
- Le changement de la méthode de clustering réduire l'énergie consommée et augmente directement la vitalité de RCSF.

Organisation de la mémoire

Pour répondre à nos objectifs, notre mémoire structurée en quatre (4) chapitres.

Le premier chapitre présente les réseaux de capteurs sans fil comme un domaine de recherche de notre problématique. Dans ce chapitre, un survol détaillé sur les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, limites, ainsi que leurs filières d'application sont présentés.

Le deuxième chapitre se concentre sur les différentes techniques de clustering permettant de réduire la consommation de l'énergie limitée des nœuds de capteurs. Dans ce chapitre, nous présentons la méthode de clustering Fuzzy CMeans (FCM) qui fait l'objet de notre étude avec les travaux connexes suivie par une discussion importante.

Le troisième chapitre introduit notre contribution, l'amélioration de phase de clustering de protocole LEACH avec FCM pour étendre la vitalité du réseau. Nous présentons la conception de notre amélioration proposée.

Le quatrième chapitre introduit nos simulations avec des expérimentations et les résultats obtenus lors de l'implémentation de notre adaptation proposée pour le protocole de routage LEACH au niveau de la phase de clustering avec la méthode de clustering FCM.

Finalement, une conclusion générale introduite et quelques perspectives pour d'éventuels travaux de recherche futurs sont présentées.

Chapitre 1: Les Réseaux De Capteurs Sans Fil

1.1 Introduction

Dans les dernières années, les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) ont attiré un grand intérêt des chercheurs et sont devenus l'une des techniques les plus prometteuses à l'avenir. Grâce à leurs utilisations pour des applications nécessitant une interaction étroite avec le monde physique, donc ils font désormais partie de nos vies quotidiennes.

Dans ce chapitre, nous introduisons quelques notions de base pour obtenir une vue générale sur les réseaux de capteurs sans fil tels que son historique, sa définition, l'architecture, caractéristiques et ses domaines d'application. Nous terminerons par une présentation des principaux défis des RCSF.

1.2 Histoire et définition de réseau de capteurs sans fil

Pour la meilleure compréhension de domaines des RCSFs, il est utile de faire un survol autour de leur histoire. L'origine des RCSFs peut être vue dans les applications militaires et industrielles lourdes. Le premier réseau sans fil est le Sound Surveillance System (**SOSUS**) qui était développé dans les années 1950 par l'armée américaine pour suivre et détecter les sous-marins soviétiques [1].

Un réseau de capteurs sans fil est un tout de petits dispositifs appelés nœuds capteurs. Ils sont déployés dans un espace de déploiement pour collecter des données. Il utilise d'autres nœuds capteurs appelés nœuds relais transfère les données vers la station de base ou au récepteur (Sink en anglais) [2,3].

1.3 Un capteur

Un capteur est un appareil électronique peut mesurer une valeur environnementale physique (température, l'humidité, etc.) et le traduire en signaux pouvant être interprétés par un observateur ou un instrument, chaque capteur est composé de quatre composants : une unité de détection et captage, une unité de traitement de l'information, unité d'alimentation et l'unité d'émission-réception (unité de communication)[2], la figure ci-dessous illustre les différents composants du capteur.

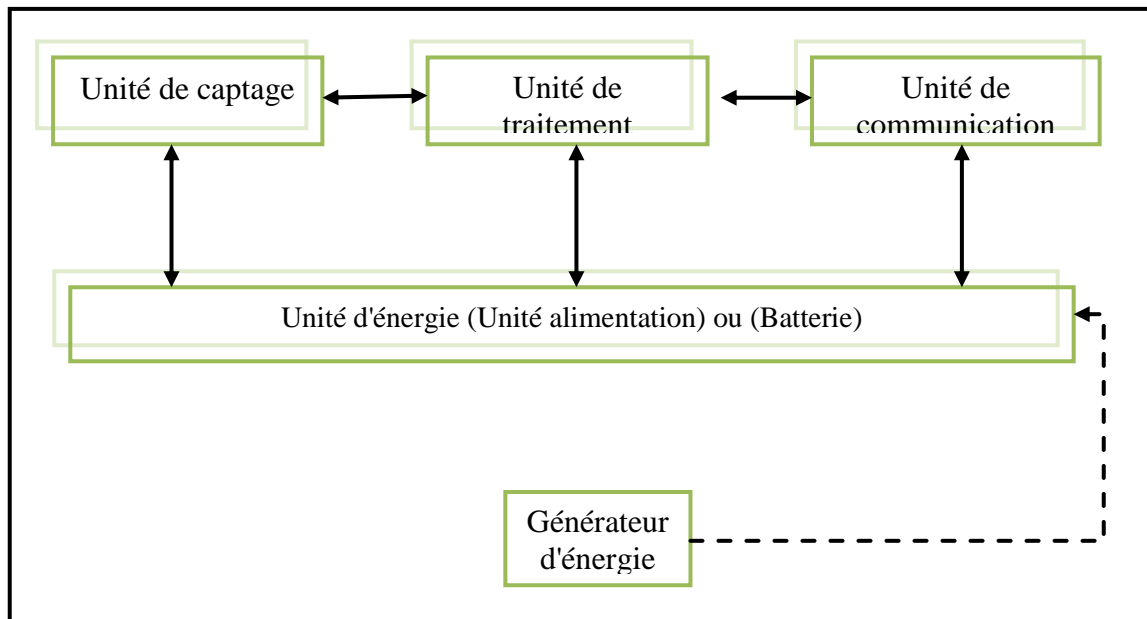


Figure 1.1 Composants d'un capteur [2].

1.3.1 Unité de captage

Il se compose généralement de deux sous-unités, un convertisseur analogique-numérique et un capteur. Le capteur acquiert la valeur mesurée du paramètre environnement et le convertit en un signal analogique, qui est ensuite transmis au convertisseur. Ce dernier convertit les signaux analogiques aux signaux numériques et les transmet à l'unité de traitement.

1.3.2 Unité de traitement

Le corps du capteur est le processeur ajouté à la mémoire RAM. Il est responsable de la gestion des actions des autres unités pour établir de bonnes opérations. Il existe certains capteurs, qui peuvent être intégrés dans le système d'exploitation pour faire fonctionner le capteur. Il peut également être couplé à l'unité de stockage, il sera par exemple utilisé pour enregistrer la capture.

1.3.3 Unité de communication

La communication entre deux nœuds sans fil est effectuée par l'unité de communication. L'émetteur-récepteur met en œuvre les procédures nécessaires pour transmettre les bits à convertir en ondes radiofréquences et récupérer-les à l'autre bout. Essentiellement, le RCSF est connecté au réseau via cette unité.

1.3.4 Unité d'énergie

Dans les nœuds de capteurs, l'énergie est consommée par la détection, la communication et le traitement des données, la communication des données nécessite plus d'énergie que la détection et le traitement, l'énergie peut être stockée dans des batteries ou les condensateurs, les batteries sont les principales sources d'alimentation des nœuds de capteurs.

1.4 Pile protocolaire

Cette pile protocolaire présentée dans la figure 1.2 comprend cinq couches avec les mêmes fonctionnalités que le modèle OSI, qui sont ajoutés à trois autres plans. Chaque couche utilise les services des couches inférieures et fournit des services pour le niveau supérieur [4].

- **Couche application** : c'est l'interface avec les applications.
- **Couche transport** : garantit le transport des données et le contrôle de flux.
- **Couche réseau** : assure le routage des données.
- **Couche liaison de données** : responsable du multiplexage des flux se donner et du contrôle d'erreurs.
- **Couche physique** : assure la modulation et du codage des données.

- **Plan de gestion de tâche** : équilibre et ordonnance les diverses tâches des captages de données.
- **Plan de gestion de mobilité** : détecte et enregistre le mouvement des nœuds capteurs.
- **Plan de gestion d'énergie** : gère la manière dont un nœud capteur utilise son énergie.

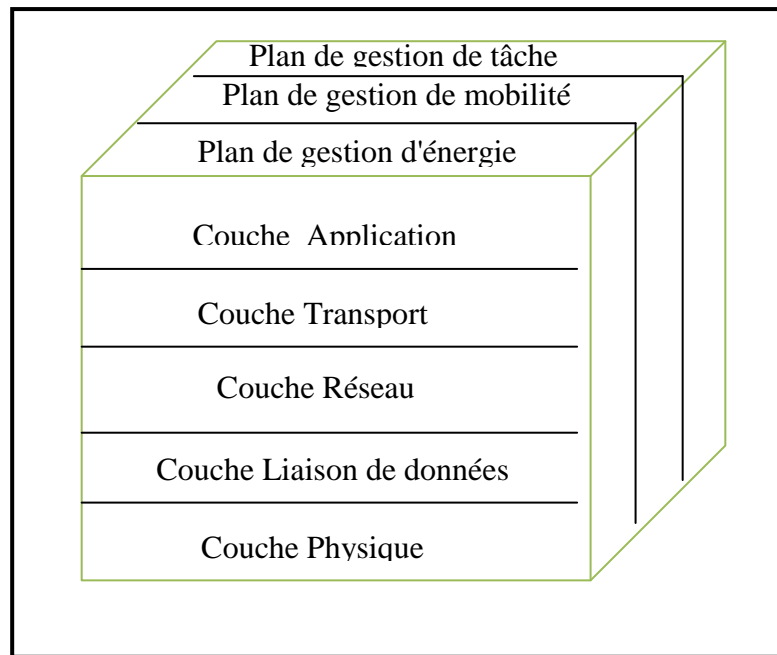


Figure 1.2 Pile protocolaire d'un capteur [4].

1.5 L'architecture des réseaux de capteurs sans fil

RCSF est un système spatial distribué composé de nombreux nœuds de capteurs dont le nombre peut atteindre des dizaines, des centaines ou des milliers. Ils sont connectés les uns aux autres via des canaux de connexion sans fil pour former un seul réseau, et un point central appelé station de base ou (Sink) est une sorte de nœud de capteur qui rassemble les données utiles provenant d'autres nœuds de capteur dispose d'une source d'énergie stationnaire et est connecté à un serveur qui traite les données reçues du RCSF [5].

L'interconnexion des puits (station de base) et des réseaux d'infrastructure (comme internet avec des liaisons par satellite) permet aux nœuds de capteurs d'être interconnectés à distance avec les utilisateurs, comme le montre la figure 1.3.

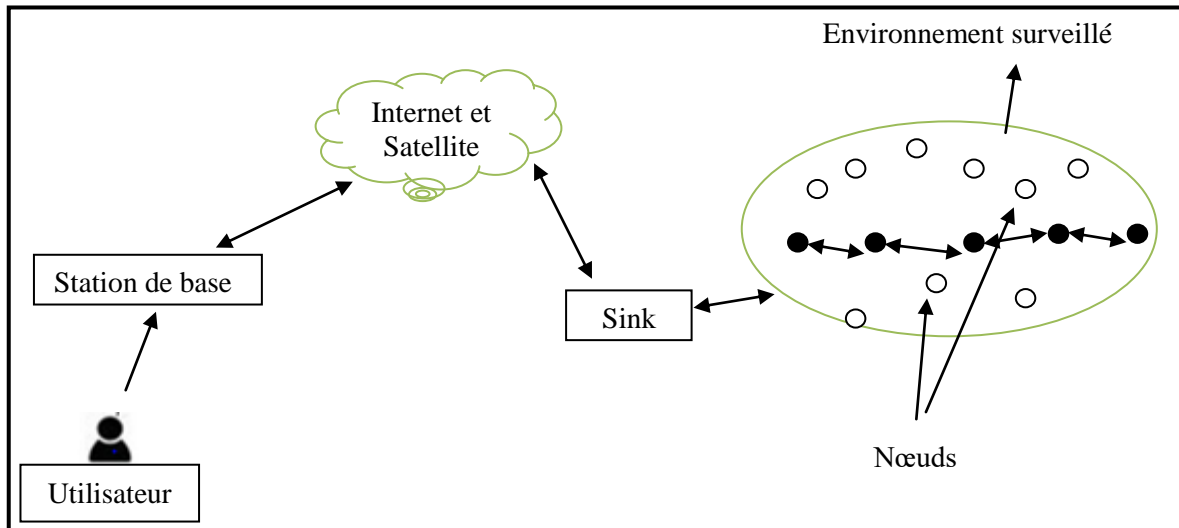


Figure 1.3 Les composants de réseau de capteurs sans fil [5].

1.6 Types d'architectures des réseaux de capteurs sans fil

Les types d'architectures de réseaux de capteurs suivent les applications et les techniques utilisées pour diriger les informations des capteurs vers la station de base.

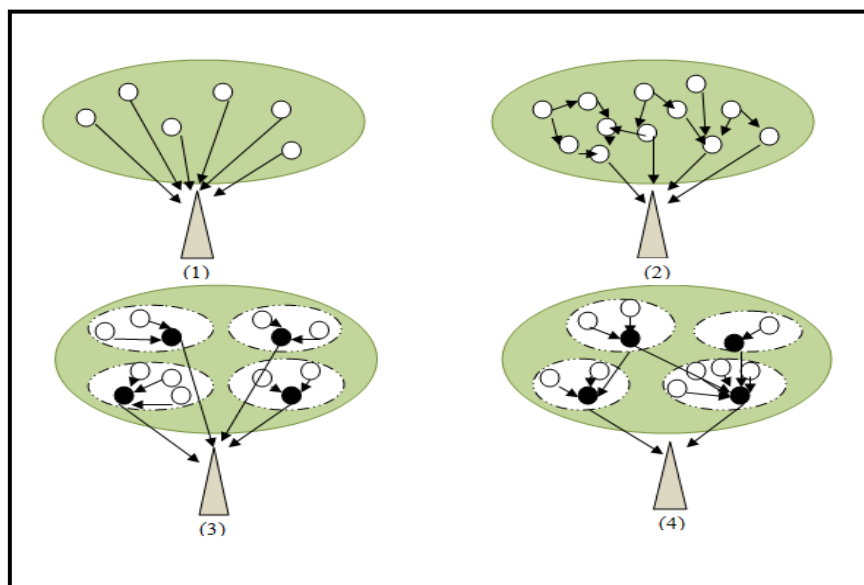


Figure 1.4 Architectures adoptées pour les réseaux de capteurs [6].

Le routage de l'information des capteurs à une station de base peut obtenir quatre formes.

- Architecture plate, les capteurs sont capables de communiquer directement avec la station de base, ceci engendre une forte consommation d'énergie (figure 1.4.1).
- Ou par un mode multi-sauts à très basse puissance (figure 1.4.2).

- D'autre part dans les architectures hiérarchisées, le nœud représentant le cluster, passe les données directement à la station de base appelée cluster-head (figure 1.4.3).
- Ou via un mode multi-saut entre les clusters-head (figure 1.4.4).

1.7 Les Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil

Les principales caractéristiques des réseaux de capteurs sont [7] :

- **Sans infrastructure** : les capteurs sont habituellement déployés d'une façon aléatoire dans des zones d'intérêt, ils doivent se façonner et s'organiser eux-mêmes sans intervention humaine.
- **Scalabilité** : les capteurs dans les RCSFs, sont déployés habituellement en grand nombre pour assurer la couverture complète de la zone d'intérêt et pour gérer les interruptions.
- **Interférences** : le concept d'interférence apparaît dans la plupart des réseaux sans fil, et notamment dans le RCSF où deux capteurs adjacents peuvent émettre dans le même saut de fréquence ce qui provoquera des interférences.
- **Topologie dynamique** : des capteurs sans fil peuvent être fixés sur des objets en mouvement, tels que des animaux, pour les surveiller de près. Sans interférer avec leur comportement. Ce genre de scénario engendre une topologie dynamique [8].
- **Contrainte d'énergie, de stockage et de calcul** : la limite des ressources énergétiques est la caractéristique la plus critique dans les RCSFs. Le majeur problème traité dans la plupart des travaux de recherche est l'énergie.

1.8 Domaines d'application RCSF

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

- **Suivi des soins de santé** : l'utilisation des RCSFs dans le domaine médical peut apporter un suivi permanent des patients tel que : la surveillance d'organes vitaux, la surveillance du niveau de glucose ou la détection de cancers, ce qui facilitent ainsi le diagnostic de certaines maladies. Comme indiqué dans la figure 1.5.



Figure 1.5 RCSF pour les soins médicaux pour surveiller l'activité de personnes âgées dans une maison de repos [10].

- **Précision agriculture** : les données rassemblées 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. Comme indiquer dans la figure 1.6.



Figure 1.6 Delft Deployment pour surveiller la qualité de l'eau dans l'environnement [10].

- **Sécurité et surveillance** : les réseaux de capteurs sont contrôlés à distance par un utilisateur et sont déposés dans le champ d'intérêt. les détections de sécurité, le suivi des ennemis.
- **Bâtiments ou ponts intelligents** : un bâtiment intelligent selon sa structure intérieure et son l'environnement extérieur est capable de surveiller et de contrôler sa propre fonctionnalité. la figure 1.7 illustre un exemple de contrôle d'un pont.



Figure 1.7 Contrôle des structures Golden Gate Bridge [10].

- **Surveillance de l'environnement** : les RCSFs dispersés dans des zones hostiles peuvent détecter des tremblements de terre, extraction de charbon, incendies, tsunamis, fuite de gaz, inondation, de détecter de la pollution (taux de CO₂). Cela aide également à sensibiliser les gens et aide à prendre des précautions sur la catastrophe imminente. Un exemple est montré sur la figure 1.8 représente un RCSF pour contrôler un volcan actif.

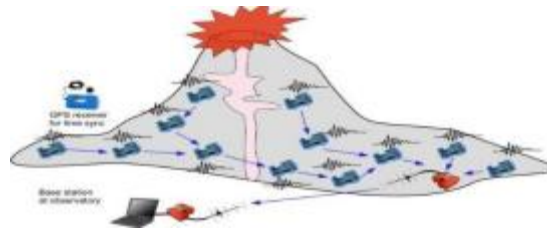


Figure 1.8 Déploiement RCSF sur un volcan actif, Tungurahua, Équateur [10].

- **Suivi des animaux** : le capteur est attaché au corps de l'animal afin que l'on obtienne des informations autour de leur position et contrôle la réaction de l'animal avec son environnement. Comme montré sur la figure 1.9, une application pour suivre les zèbres sur le terrain Princeton.



Figure 1.9 ZebraNet, une application pour suivre les zèbres sur le terrain Princeton, (2004) [10].

- **Suivi des véhicules** : RCSFs utilisés pour le suivi des véhicules sur ville pour violation de la circulation et surveillés la circulation pour réduire la congestion. La figure 1.10 représente un stationnement intelligent suivi le flux et la congestion du trafic automobile.

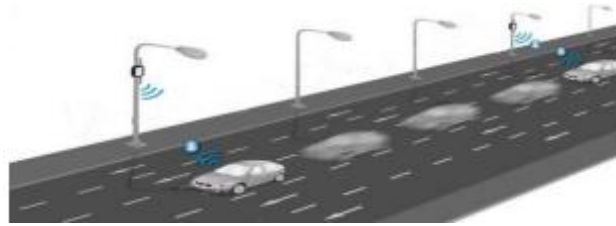


Figure 1.10 Smart Parking suivi le flux et la congestion du trafic automobile pour des systèmes routiers efficaces dans les villes [10].

1.9 Défis des réseaux de capteurs sans fil

Les principaux défis d'un réseau de capteurs sans fil peuvent être classés comme indiqué la référence [11].

- **Consommation d'énergie** : les nœuds de capteurs contiennent généralement une quantité d'énergie très limitée. Le transfert de données entre nœuds consomme beaucoup d'énergie, surtout si le nœud est mort, le réseau doit être réorganisé.
- **La durée de vie** : le cycle de vie dépend de l'application du RCSF, qui est directement lié au fonctionnement efficace du réseau. Les nœuds de capteurs ont une énergie très limitée en termes de capacité de stockage et puissance de calcul.
- **Localisation** : Le développement de nouvelles technologies de localisation est devenu une préoccupation majeure pour les réseaux de capteurs sans fil.
- **La sécurité** : les nœuds de capteurs ne peuvent pas empêcher les erreurs de fonctionnement ou les attaques. Les attaques d'écoute clandestine, de brouillage et de retransmission peuvent entraver ou empêcher les opérations. Alors, la confidentialité, le contrôle d'accès, l'intégrité des messages doivent être garantis.
- **Environnement** : les capteurs sont généralement déployés en grand nombre dans des endroits hostiles. Donc, ils doivent pouvoir travailler sans surveillance dans des zones géographiques isolées ou inaccessibles.
- **Topologie dynamique** : dans les RCSFs la modification de la topologie est l'un des aspects les plus primitifs. Car ce changement de topologie du réseau peut entraîner des problèmes de connectivité. Ce changement peut être dû à : (la mobilité des nœuds, épuisement des réserves énergétiques des nœuds, ajout de nouveaux nœuds).

- **Agrégation de données** : plus un capteur doit émettre loin, donc augmenter sa puissance d'émission, plus il consomme d'énergie et sa durée de vie raccourcie. Il est donc nécessaire de réduire par compression ou agrégation des données au cours du routage.

1.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté de nous concentrer sur l'architecture des RCSF, ainsi que sur leurs caractéristiques et domaines d'application. Cette présentation nous a permis de déduire que les protocoles de routage et la dissipation d'énergie jouent un rôle déterminant et crucial dans la conception des RCSF. Cela nous a conduits à étudier dans le chapitre suivant la méthode de clustering Fuzzy Cmeans comme solution pour maximiser la durée de vie de RCSF.

Chapitre 2 : État De L'art

2.1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont utilisés dans de nombreuses applications car ils conviennent à divers environnements. L'objectif principal de la plupart des protocoles de routage (Réseaux Capteurs Sans Fil) est de trouver des routes économes en énergie qui maximisent la durée de vie du réseau.

Dans ce chapitre, nous présentons la méthode de clustering qui mène à une amélioration importante dans la réduction de la consommation d'énergie. Ensuite, nous nous concentrons sur le clustering à base Fuzzy CMeans (FCM) qui fait l'objet de notre étude.

2.2 La Consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil

Dans cette section, nous discutons de la manière dont un module affecte de manière significative la consommation d'énergie du système. Les capteurs utilisent leur énergie pour effectuer trois actions principales : le captage, la communication et le traitement des données [12] :

- **Énergie de capture** : la conversion analogique-numérique, l'échantillonnage, l'activation de la sonde de capture et le traitement de signal sont les sources des nœuds pour la consommation d'énergie pour les opérations de capture. Cette énergie consommée n'est pas très importante.
- **Énergie de traitement** : l'énergie de traitement est divisée en deux parties : l'énergie de fuite correspondant à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement et l'énergie de commutation consomme plus d'énergie que les autres tâches.
- **Énergie de communication** : les communications consomment beaucoup plus d'énergie que les autres tâches, divisées en trois parties : alimentation de réception, alimentation de l'émission et alimentation en état de veille. Cette énergie est déterminée par la distance de transmission et la quantité des données à communiquer [13].
 - Pour envoyer un message de k bits sur une distance de d mètres, l'expéditeur consomme une énergie selon la formule suivante :

$$ET_x(k, d) = ET_x(k) + ET_{xamp}(k, d)$$

Cette formule change selon la distance d.

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

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

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

Avec :

E_{elec} : énergie de transmission et de réception électronique

k : taille d'un message

d : distance entre l'émetteur et le récepteur

ET_x_amp : énergie d'amplification

E_{amp} : facteur d'amplification

$d_{crossover}$: distance limite à laquelle les facteurs de transmission modifient la valeur.

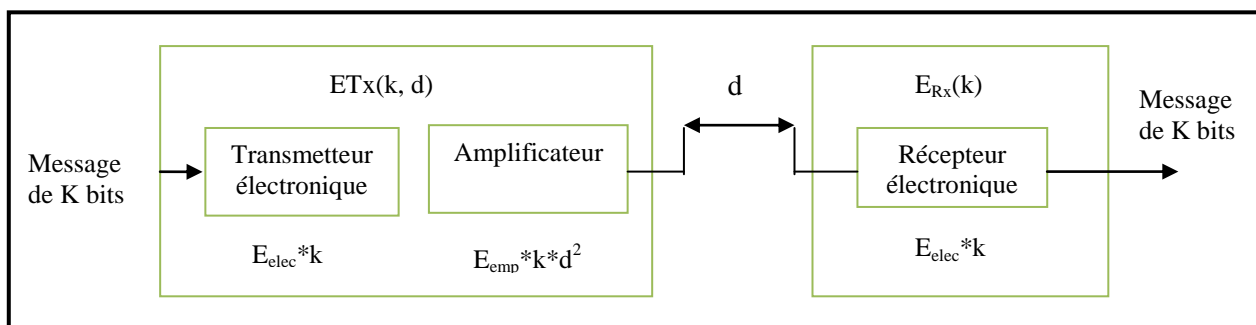


Figure 2.1 Modèle de consommation d'énergie [12].

2.3 Les causes de gaspillage d'énergie

Cette section met en évidence les raisons principales de gaspillage d'énergie dans la communication des nœuds de capteurs sans fil :

- **Écoute inactive** : c'est le réveiller et l'écoute de nœuds des trames entrantes même lorsqu'aucune donnée n'est transmise, cela épuise la longévité des réseaux de capteurs sans fil.

- **Collision** : lorsque deux ou plusieurs stations proches veulent envoyer des paquets en même temps, lorsque cela se produit une perte d'énergie, par ce que tous les paquets impliqués dans la collision doivent être retransmis et rejeté.
- **Sur-écoute** : la sur-écoute d'un trafic inutile peut provoquer un gaspillage d'énergie. Lorsque le canal sans fil distribuait un message, de grand nombre des nœuds autour de l'expéditeur peuvent écouter la transmission de paquets même s'ils ne sont pas les destinataires prévus de ces transmissions.
- **Surcharge des paquets de contrôle** : les paquets de contrôle utilisent beaucoup d'énergie lors de l'écoute, de l'envoi et de la réception. Il est donc conseillé d'utiliser un nombre moins de paquets de contrôle pour la transmission des données afin de réduire la surcharge.

2.4 Clustering dans les réseaux de capteurs sans fil

De nos jours, les chercheurs ont été mis en œuvre de nombreux protocoles de routage à base de clustering ou cette méthode donne une amélioration remarquable en termes d'énergie et la maximisation de la durée de vie.

2.4.1 Définition de clustering

Dans la méthode de clustering, les nœuds de capteurs sont divisés en groupes appelés clusters. Chaque cluster contient un nœud chef appelé cluster head (CH) et les autres nœuds sont appelés membres du cluster. Les nœuds membres détectent les paramètres physiques de l'environnement et transmettent les données à leurs CHs correspondantes. Ensuite, après avoir collecté les données reçues, le cluster head regroupe leurs données et les envoie à la station de base (SB) [14] [15] [16].

Les algorithmes de routage basés sur le clustering sont des méthodes de contrôle approprié pour réduire la consommation d'énergie du capteur, et augmenter la durée de vie du RCSF [17].

2.4.2 Caractéristique de clustering

Plusieurs caractéristiques de clustering sont improvisées pour catégoriser les différentes méthodes de clustering selon Arjunan et Sujatha [18]. Trois caractéristiques du clustering sont décrites dans cette sous-section :

- Propriétés des clusters
- Propriétés du CH
- Propriétés du processus de clustering

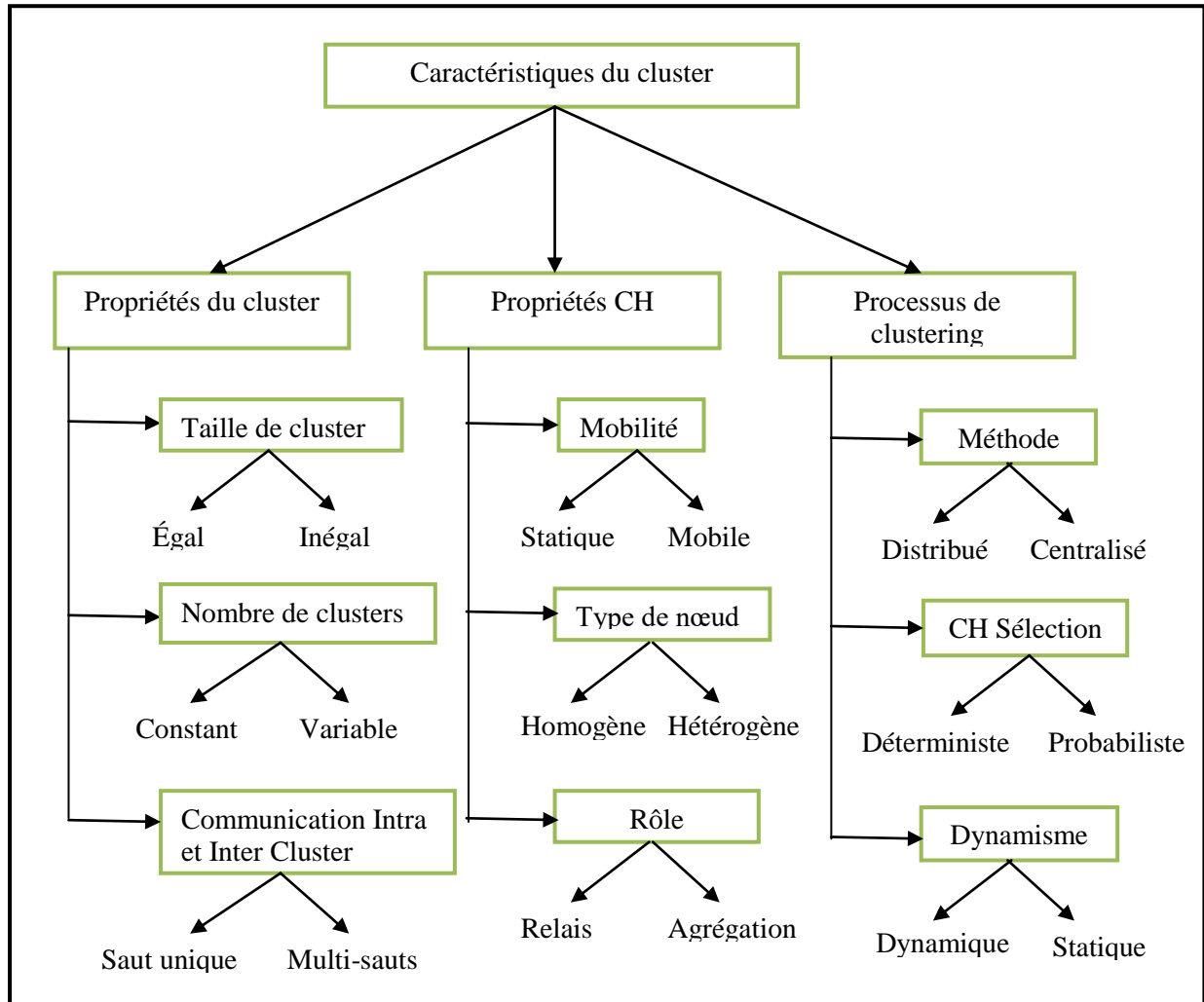


Figure 2.2 Les caractéristiques de clustering de RCSF [18].

2.4.3 Propriétés des clusters

La taille du cluster, le nombre de clusters, la communication intra et inter-clusters sont utilisés pour définir les propriétés ou spécifications des clusters.

- **Nombre de clusters** : le nombre de clusters désigne le nombre de clusters établis dans le RCSF, qui peut être prédéfini ou variable.
- **Taille des clusters** : dans les RCSFs, la taille des clusters peut être différente. Beaucoup d'entre eux peuvent être égaux ou inégaux [19].

- **Communication intra-cluster** : l'ensemble des communications entre les nœuds membres et le CH d'un cluster peuvent être direct ou multi-sauts.
- **Communication inter-cluster** : les communications entre clusters ou entre clusters et stations de base peuvent être directes ou multi-sauts.

2.4.4 Propriétés CH

Les principales responsabilités du CH sont d'accumuler les données des membres du cluster, d'associer et d'agrèger les données, puis d'envoyer les données collectées au SB. Il peut s'agir d'un système de communication directe ou multi-sauts.

- **La mobilité** : le cluster head peut être fixe ou mobile [20].
- **Rôle** : le cluster head (CH) a un rôle important. Il collecte les données de ses nœuds membres de son propre cluster, effectue l'agrégation des données des capteurs collectées et les envoie au prochain CH ou SB.

2.4.5 Caractéristiques du processus de clustering

Les caractéristiques du processus de clustering sont indiquées ci-dessous :

- **Méthodes de clustering** : Il existe deux types de méthodes de clustering dans les RCSF. L'une est centralisée et une autre distribuée. Dans la méthode centralisée, une SB centrale autorisée où un super nœud gère l'ensemble du processus comme la sélection du CH et la formation du cluster, etc. Dans la méthode distribuée, il n'y a pas de contrôle central autorisé.
- **Nature** : La méthode de clustering peut être de nature proactive, réactive ou hybride. Dans la méthode proactive, le CH transmet continuellement des données à la SB. Si les données sont détectées et disponibles et que le CH transmet les données à la SB, on parle de méthode réactive. Dans la méthode hybride, le CH transmet des données à la station de base à des intervalles de temps habituels.
- **Sélection des CH** : le processus de sélection des CH est divisé en deux segments, probabiliste et déterministe. Dans le processus probabiliste, la sélection du CH peut être faite de manière aléatoire, sans tenir compte des considérations précédentes. Dans la méthode déterministe, le processus de sélection du CH peut être fait en tenant compte de divers paramètres.

2.5 Définition de clustering partitionnel

Regrouper n individus en k classes afin que les individus d'une même classe soient aussi similaires que possible et que les classes soient bien séparées en répondant aux exigences suivantes:

- Chaque groupe contient au moins un point.
- Chaque point appartient exactement à un groupe.

2.6 Les types de clustering partitionnel

Il existe de nombreuses méthodes de partitionnement "*clustering*", les plus connues sont : K-MEANS, FUZZY C-MEANS, K-MEDOID, C-MEANS.

2.7 La méthode de Fuzzy Cmeans

L'algorithme Fuzzy CMeans (FCM) est un type de clustering développé par Dunn en 1973 et amélioré en 1981 par Bezdek, il a été couramment appliqué et étudié. FCM est un algorithme de clustering non supervisé basé sur l'algorithme traditionnel k-means avec le même objectif de division des clusters.

2.7.1 Principe de FCM

Le fuzzy c-means est un algorithme d'optimisation itératif qui vise à minimiser la fonction objective suivante [22] [23].

$$f = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^n u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (1)$$

Où c est le nombre de clusters, n est le nombre de nœuds de capteurs, x_i est le nœud de capteur, c_j est le centre du cluster, u_{ij}^m est le degré d'appartenance du nœud de capteur dans le cluster, et m est un exposant de pondération (généralement égal à deux) représente le paramètre de contrôle Fuzzy.

$\|x_i - c_j\|^2$ Représente la distance euclidienne du nœud de capteur x_i au centre du cluster [22] [23].

Le degré d'appartenance u_{ij}^m est défini comme suit :

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (2)$$

Et le centre de cluster c_j est défini comme suit :

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (3)$$

2.7.2 Les étapes de l'algorithme FCM

On va définir tout d'abord avant de commencer l'utilisation de l'algorithme Fuzzy C-Means les paramètres suivants [24]:

C : Nombre de clusters.

m : L'exposant flou (facteur flou).

$\varepsilon < 0.001$: Terme de pondération.

1. Initialiser au hasard avec des éléments de l'ensemble de données les centres des **C** cluster $c_j \mid j = 1..C$
2. Calculer la matrice des degrés d'appartenance $u_{ij} \mid i = 1..N ; j = 1..C$ par la formule (2) et calculer la fonction objective $f(c, u, x)$ on utilise la formule (1).

Dans lequel :

n : le nombre de nœuds.

x : les nœuds.

c : les centres.

u: la matrice des degrés d'appartenance.

3. Ensuite par la formule (3) mettre à jour les centres.
4. Mettre à jour la matrice **Uij** et la fonction objective.
5. Répéter les étapes 3 et 4 jusqu'à satisfaction du critère d'arrêt :

$$\|f(c, u, x)^{(t)} - f(c, u, x)^{(t+1)}\| < \varepsilon \quad t \text{ étant la } t \text{ ème itération.}$$

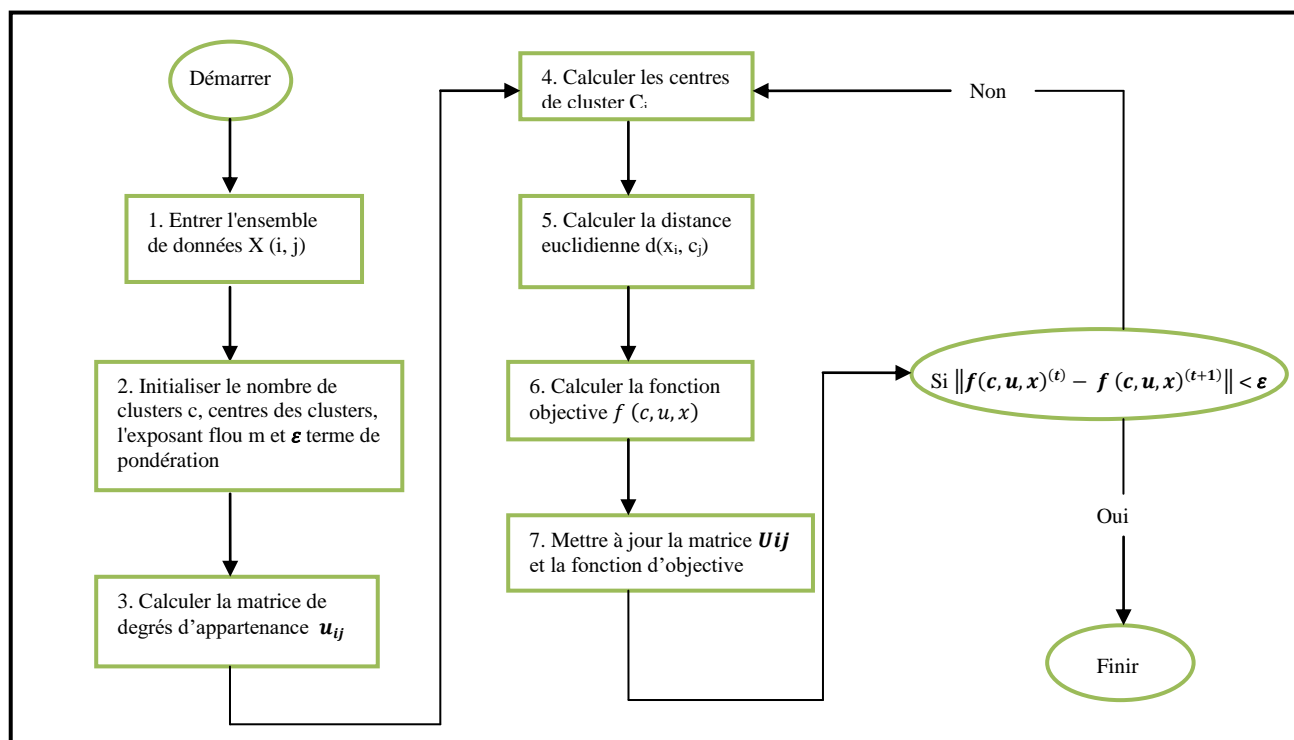


Figure 2.3 Organigramme de l'algorithme FCM [25].

2.8 Les travaux connexes

Durant les dernières années il existe plusieurs contributions qui concentrent sur l'utilisation de l'algorithme de Fuzzy CMeans dans la méthode de clustering grâce à ses améliorations au niveau de la consommation d'énergie et la maximisation de la durée de vie du réseau.

C'est pour ça on a fait une étude sur ces contributions pendant les dix ans derniers de (2010→2020) où nous avons concentré sur les caractéristiques de la méthode utilisée, le choix de CH, la transmission de données et ses avantages et ses inconvénients, et on résume tous les travaux précédents comme suit et dans le tableau suivant :

[26] Les auteurs dans cet article proposent un protocole basé sur le clustering avec la méthode Fuzzy C-Means (FCM). Une comparaison entre FCM, K-Means clustering, LEACH et MTE a été effectuée. Les résultats de la simulation montrent que le protocole FCM peut réduire la consommation d'énergie et améliorer la durée de vie du réseau.

[27] L'auteur propose un algorithme de Fuzzy clustering (FCA). Cet algorithme ajuste le rayon de cluster head en tenant compte de l'énergie résiduelle et de la distance aux paramètres de la station de base des nœuds capteurs. Cet algorithme est comparé avec le protocole hiérarchie de clustering adaptatif à basse énergie (LEACH). Les résultats de

simulation montrent que FCA fonctionne mieux que LEACH.

[28] Les auteurs proposent deux approches qui consistent à former des clusters par algorithme FCM et à choisir des têtes de cluster par énergie résiduelle des nœuds mais elles diffèrent par leur mode de transmission des données vers la station de base. Les résultats des simulations offrent de meilleures performances que l'algorithme de transmission directe en termes de consommation d'énergie et de durée de vie du réseau.

[29] Dans cet article l'auteur a utilisé le clustering Fuzzy CMeans pour former des clusters optimaux et de taille similaire. La logique de contrôle floue est utilisée pour choisir les CHs en tenant compte de divers facteurs tels que l'hétérogénéité du nœud, l'énergie du nœud, etc. L'approche proposée a surpassé avec succès d'augmenter le débit du réseau.

[30] Les auteurs illustrent l'algorithme de clustering Fuzzy CMeans pour produire des clusters symétriques. Cette méthode réduisait la distance de communication pour les communications intra-cluster et indiqué que cela entraîne une réduction de la consommation d'énergie dans le capteur nœuds qui entraîne une prolongation de la durée de vie du RCSF.

[31] Dans cet article les auteurs proposent un algorithme de cluster centralisé basé sur la méthode de partitionnement spectral. Après cela, présente une implémentation distribuée de l'algorithme de clustering basé sur la méthode des Fuzzy CMeans et les résultats montrent que les algorithmes proposés surpassent l'algorithme de clustering hybride éco-énergétique distribué (HEED) en termes de coût énergétique et de durée de vie du réseau.

[32] Dans cet article, le clustering Fuzzy C-Means a été utilisé pour former un nombre optimal de clusters statiques. Intra-cluster et inter-cluster les passerelles sont utilisées pour empêcher les nœuds de transmettre des données via longues distances. L'algorithme est comparé à LEACH, MR-LEACH, MH-LEACH et OCM-FCM basé sur la durée de vie, la consommation d'énergie moyenne et le débit. D'après les résultats, il est confirmé que les performances de l'algorithme proposé sont bien meilleures que les autres algorithmes.

[33] Les auteurs présentent un protocole pour trouver le nombre minimal de clusters pour un RCSF. La sélection CH et la transmission des données sont effectuées pour chaque cluster individuellement au lieu de répéter à nouveau l'algorithme FCM pour l'ensemble réseau. Les résultats de la simulation montrent que l'approche proposée réduit efficacement la consommation d'énergie et améliore la durée de vie du réseau.

[34] Cet article utilise un algorithme de clustering Fuzzy CMeans (FCM) qui améliore la conservation de l'énergie en créant des clusters hautement uniformes et en réduisant les distances de communication totales. Le protocole proposé est comparé à LEACH. Les

résultats de la simulation montrent que l'approche proposée mieux que LEACH en termes d'économie d'énergie et de prolongation de la durée de vie du réseau.

[35] Les auteurs améliorent l'algorithme FCM pour créer des clusters équilibrés en intégrant le FCM avec un mécanisme centralisé (MC). Les résultats de la simulation montrent que l'algorithme proposé est plus supérieur au FCM en produisant des clusters équilibrés en plus d'accroître l'équilibrage des intra-distances des clusters, ce qui conduit à la conservation de l'énergie et prolongation de la durée de vie du réseau.

Réf.	Année	Titre	Caractéristique	Choix Ch	Transmission	Avantage	Inconvénient	Simulation	Comparée
[26]	2010	Fuzzy C-Means Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks.	Centralisée	A base de la plus grande énergie résiduelle	Un saut	-La réduction de la consommation d'énergie et l'amélioration de la durée de vie du réseau. -Minimisation de la distance moyenne entre chaque nœud et le cluster.	/	Matlab	K-Means, Leach, MTE, communication directe
[27]	2012	Performance Analysis of Clustering Protocol Using Fuzzy Logic for Wireless Sensor Network (FCA).	-Distribuée	A base de l'énergie entre les têtes de clusters	Un saut	-La réduction du travail intra-cluster des nœuds de capteurs les plus proches du SB ou ont un niveau de batterie faible.	Ne pas gérer les nœuds de capteurs mobiles	/	Leach -FCA est plus performant que Leach dans la répartition des nœuds capteurs vivants en fonction du nombre de tours et le début de mort des nœuds capteurs.
[28]	2013	Energy-Efficient in wireless sensor networks using fuzzy C-Means clustering approach.	- Centralisée	Le nœud ayant l'énergie résiduelle la plus élevée	-Premier algorithme : un saut -Deuxième algorithme : multi-sauts	-Améliorer la consommation d'énergie - Prolongement de la durée de vie - Le deuxième algorithme prouve sa capacité à être appliqué dans des réseaux de capteurs sans fil à grande échelle.	-Améliorer le deuxième algorithme pour trouver le chemin le plus court entre les têtes de cluster et la SB	/	Algorithme de transmission directe -L'énergie totale dissipée de deux algorithmes proposés est meilleure que l'algorithme de transmission directe

[29]	2016	An Improved Fuzzy-Control Based Energy Efficient Heterogeneous Wireless Sensor network.	- Clusters optimaux et de taille similaire.	le niveau d'hétérogénéité, le niveau d'énergie et la distance de la station de base.	Un saut	-Augmentation de la durée de vie du réseau -Minimisation de taux de morts des nœuds. -Augmentation de débit du réseau.	Ne montre pas de meilleures performances qu'après 1 k tour	Matlab	FSEP-E -l'existence des nœuds actifs de l'algorithme proposé et l'énergie des nœuds observés à chaque tour est meilleure que FSEP-E
[30]	2016	A Novel Fuzzy CMeans-Based Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks.	Symétrique	Le nœud le plus proche du centre du cluster	Aux CH les plus proches	-Amélioration de processus aléatoire de sélection des nœuds cluster-head -La réduction des distances totales de communication intra-cluster - Prolongement de la durée de vie du réseau -La réduction de la consommation d'énergie -Amélioration de temps FND et LND	/	Matlab	Leach - Consommation moins d'énergie et l'énergie moyenne des nœuds du réseau sera plus élevée que le protocole LEACH. -La communication totale à moins de distance que LEACH
[31]	2018	Spectral partitioning and fuzzy C-means based clustering algorithm for big data wireless sensor networks.	- Nombre optimal de clusters - Centralisé - Implémentation distribuée	À base de la probabilité la plus élevée	Un saut	- Prolongement de la durée de vie du réseau - une stratégie de sélection de tête de cluster optimale - Minimisation de la consommation d'énergie	- La topologie du réseau doit rester inchangée au fil du temps et que les nœuds de capteurs sont déployés de manière uniforme. - Tous les nœuds sont supposés être homogènes et avoir le même modèle de consommation d'énergie et que chaque	/	He hybrid energy-efficient distributed (HEED) clustering algorithm -L'énergie résiduelle du réseau diminue plus rapidement dans HEED -la durée de vie du réseau avec l'algorithme proposé est plus élevée par

							nœud est conscient de sa propre position grâce à la localisation RSSI		rapport HEED
[32]	2018	Energy Efficient Algorithm for Wireless Sensor Network using Fuzzy C-Means Clustering.	Nombre optimal de clusters statiques	À base de la valeur de fitness la plus élevée	Multi-sauts	-Amélioration de la durée de vie du réseau - Une densité de nœuds plus élevée de RCSF	/	Matlab	-LEACH -MR-LEACH --MH-LEACH --OCM-FCM - les performances de l'algorithme proposé sont bien meilleures que les autres algorithmes en termes de la durée de vie, consommation d'énergie moyenne et débit, et sont plus adaptées à une mise en œuvre dans des RCSF
[33]	2018	A Decentralized Fuzzy C-Means Minimal Clustering Protocol for Energy Efficient Wireless Sensor Network (DFCM).	- Décentralisée - Protocole de cluster minimal	À base de l'énergie restante du nœud, la distance entre nœuds candidats et la SB	Un saut	Amélioration de la durée de vie du réseau en terme de consommation d'énergie	- Peut être encore amélioré en trouvant un protocole de routage approprié en termes de dissipation d'énergie efficace	Matlab	Leach - les performances de l'algorithme proposé sont plus meilleures que Leach en termes de l'énergie moyenne dans le réseau et la mort d'un nœud
[34]	2019	Fuzzy C-Means Clustering for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Network.	Clusters symétriques	En fonction de trois paramètres (niveau d'énergie résiduelle, distance à la station de base et distance à la tête de cluster)	-les nœuds normaux transmettent les données aux CHs selon la table TDMA -Les CHs utilisent un	- Prolongement de la durée de vie du réseau - réduction de la consommation d'énergie	la nécessité d'amélioration pour prendre en charge les applications qui détectent les événements à l'aide de nœuds mobiles et de SB flexibles	Matlab (R2017 b)	Leach - les performances du protocole proposé sont nettement meilleures que les performances du Leach et l'énergie totale dissipée est meilleure que Leach

					CSMA/CD pour la transmission vers la SB				
[35]	2020	Improved fuzzy c-means algorithm based on a novel mechanism for the formation of balanced clusters in WSNs (FCM-CM).	- Équilibres clusters -Centralisé -Augmente l'équilibrage des distances internes des clusters	À base de la distance	/	-Économisation d'énergie - Prolongement de la durée de vie du réseau.	La sélection aléatoire des centroïdes initiaux peut affecter le résultat final	Matlab	FCM -L'algorithme proposé FCM-CM est plus supérieur au FCM en produisant des clusters équilibrés en plus d'augmenter l'équilibrage des intra-distances des clusters

Tableau 2-1 Les travaux connexes sur FCM.

2.9 Discussion

Ces dernières années, nous remarquons l'orientation vers l'utilisation de l'algorithme Fuzzy CMeans dans la méthode de clustering grâce à ses avantages par rapport à l'algorithme traditionnel K-Means et beaucoup d'autres algorithmes, nous avons donc choisi quelques travaux connexes au Fuzzy CMeans pendant les dix ans derniers à étudier.

- À travers ces travaux on trouve:
 - La majorité des contributions [26, 28, 31, 35] utilisent la méthode de clustering centralisé.
 - Le reste utilise la méthode distribuée [27,33].
- Dans le choix de CH les contributions basent sur différents paramètres tels que :
 - La plus grande énergie résiduelle [26, 28, 33, 34].
 - La distance [29, 30, 33, 34, 35].
 - D'autres paramètres tels que le niveau d'hétérogénéité, la valeur de fitness [28, 30, 31].
- Dans la transmission de données on trouve :
 - La plupart des travaux [26, 27, 28, 29, 31, 33] utilisent la méthode un saut.
 - Par contre le reste utilise la méthode multi-sauts.
- À travers ces travaux nous avons remarqué que les contributions qui utilisent la méthode FCM dans la phase de clustering est plus performant que LEACH, K-Means, MR-LEACH, MH-LEACH, HEED et l'algorithme de transmission directe en terme de :
 - L'énergie totale dissipée.
 - L'énergie moyenne dans le réseau et la mort d'un nœud.
 - La durée de vie.
 - La consommation d'énergie moyenne et débit.
 - L'énergie résiduelle et l'existence des nœuds actifs à chaque tour.
- Parmi les avantages de FCM à travers cette étude on trouve:
 - La minimisation de la consommation d'énergie.
 - La prolongation de la durée de vie du réseau.
 - Une densité de nœuds plus élevée de RCSF.
- La plupart des travaux utilisent la simulation MATLAB

- Tous les articles mentionnés ont des inconvénients tels que :
 - La sélection aléatoire des centroïdes initiaux peut affecter le résultat final.
 - Ne donne pas le chemin le plus court entre les têtes de cluster et le SB.
 - Les nœuds de capteurs sont déployés de manière uniforme.

Dans le chapitre suivant on va améliorer la méthode FCM on essaye de surmonter les inconvénients en terme de maximisation de la durée de vie du RCSF.

2.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté de nous concentrer sur les caractéristiques de la méthode de clustering, ainsi nous avons présenté le principe de la méthode Fuzzy C-Means et ses étapes de fonctionnement et à la fin nous avons fait une étude comparative entre les contributions qui utilisent l'algorithme de clustering FCM pendant les dix ans derniers. Dans cette étude comparative on a étudié les avantages et les caractéristiques de ces contributions et on va essayer de trouver des solutions pour les inconvénients dans le prochain chapitre.

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 Fuzzy C-Means pour réaliser une prolongation de la durée de vie du réseau ainsi qu'une gestion efficace de la consommation d'énergie.

Chapitre 3 : Contribution

3.1 Introduction

Après avoir pris quelques connaissances sur les réseaux de capteurs (RCSF), à travers les chapitres précédents, nous présenterons nos contributions sur le protocole d'acheminement LEACH avec la méthode de clustering Fuzzy C-Means dans ce chapitre sur ce type de réseau.

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

3.2 Le protocole de routage LEACH

LEACH est considéré comme le premier protocole de routage hiérarchique basé sur les clusters proposé par Al et Heinzelman. Comme l'un des algorithmes de routage hiérarchique le plus populaire pour les réseaux de capteurs sans fil [36].

3.2.1 Principe de fonctionnement de LEACH

Lors du démarrage du fonctionnement du réseau, le protocole LEACH suppose une énergie restante égale du capteur. Diviser ensuite le cycle de vie du réseau en tours en sélectionnant CH. Cependant, chaque cycle se compose de deux phases : la phase d'initialisation et la phase de transmission [37].

- **La phase d'initialisation** : Cette phase se compose de trois sous-phases successivement : annonce, organisation du cluster et ordonnancement.
 - **Étape d'annonce** : sélection du nombre de CH. Ce nombre, noté K est fixe et reste le même à tous les tours. Nous estimons que le pourcentage optimal du nombre de CH requis devrait être de 5 % à 15 % du nombre total de nœuds. $P_i(t)$ est calculé en fonction de K et tour r [37]:

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

Où N est le nombre total de nœuds du réseau. Si nous avons N nœuds et K CH, alors il faudra N/K tours, où un nœud ne doit être élu qu'une seule fois comme CH, puis le tour est remis à 0. Par conséquent, la probabilité que chaque nœud i soit un CH est:

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

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

Avec $C_i(t)$: l'éligibilité du nœud à être CH à l'instant t .

Où $C_i(t)$ vaut 0 si le nœud i a déjà été CH dans un des tours précédents, et vaut 1 sinon. Ainsi, seuls les nœuds qui n'ont pas encore été CH sont susceptibles d'avoir une énergie résiduelle suffisante par rapport aux autres et peuvent être sélectionnés.

- **Étape d'organisation du cluster** : Après avoir élu un nœud CH, il doit informer les autres nœuds capteurs de son nouveau classement dans le tour en cours [37]. Chaque nœud membre informe son CH de sa décision. Une fois que le CH reçoit la demande, il envoie un message de confirmation "Join-REQ".
 - **Étape d'ordonnement** : une fois les clusters formés, chaque CH joue le rôle de centre de contrôle local pour la coordination des transmissions de données au sein de son cluster. Il crée un ordonnanceur TDMA et attribue à chaque nœud membre un intervalle de temps pendant lequel il peut transmettre ses données.
- **La phase de transmission** : dans cette phase, la transmission des données à la SB aura lieu. À l'aide du planificateur TDMA, les membres transmettent leurs données capturées dans leurs propres créneaux. Cela leur permet de fermer l'interface de communication à l'extérieur du slot pour économiser de l'énergie. Ces données sont ensuite accumulées par CH, qui les fusionne et les compresse, et envoie le résultat final à SB [37].

3.3 Adaptation proposée

Notre adaptation du protocole LEACH concerne en particulier 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, nous utiliserons le clustering à l'aide de la méthode FCM et la distance entre les nœuds

et l'énergie résiduelle. Le clustering FCM est une méthode de qui donne une meilleure partition avec séparation du cluster.

3.4 Modèle de système de base

Notre adaptation de protocole LEACH propose une amélioration de la procédure de clustering. L'algorithme de clustering Fuzzy C-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 allonger la durée de vie du réseau RCSFs. L'utilisation de l'algorithme FCM comme technique de clustering pour la formation des clusters assure un clustering parfait.

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

- N nœuds sont répartis au hasard dans une zone carrée de $M \times M$.
- Les nœuds sont équipés de module GPS ou utilisent des mécanismes de suivi pour trouver des emplacements.
- Tous les nœuds du capteur équipé de la même énergie initiale.
- Attribué un ID unique pour chaque nœud.
- La SB a une réserve d'énergie illimitée et une puissance de transmission conséquente. En conséquence, tous les nœuds de capteurs se trouvent dans la plage de SB.
- Si nécessaire, le nœud peut utiliser le contrôle de puissance pour ajuster la puissance de transmission en fonction de la distance de transmission. Par conséquent, CH peut être directement transféré à SB.
- Une fois déployés, les nœuds capteurs et les SB sont stationnaires.
- Les nœuds capteurs ont de mémoire suffisante pour éviter la congestion.

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

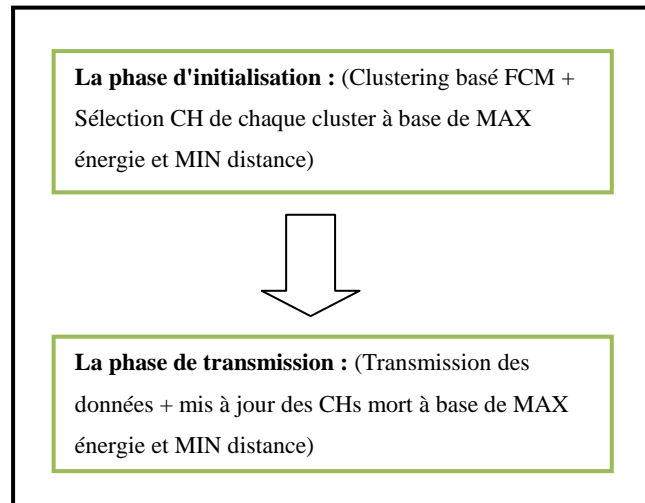


Figure 3.1 Les deux phases d'amélioration proposée.

- **La phase d'initialisation** : les nœuds sont distribués de manière aléatoire dans la zone du réseau, après le processus de clustering avec la méthode Fuzzy C-means commence, la sélection du CH à ce stade, il s'agit d'utiliser l'énergie maximale et la distance minimale FCM points pour choisir le CH de chaque cluster.
- **La phase de transmission** : les nœuds de chaque cluster commencent l'envoi des données collectées au leur propre CH de cluster, après certaines itérations, si l'énergie de CH de cluster \leq Énergie Min une procédure de mise à jour de CH va commencer parmi les nœuds vifs appartient au cluster en utilisant comme début la distance et l'énergie comme paramètres de choix.

La figure 3.2 ci-dessous illustre l'organigramme de fonctionnement de FCM proposée.

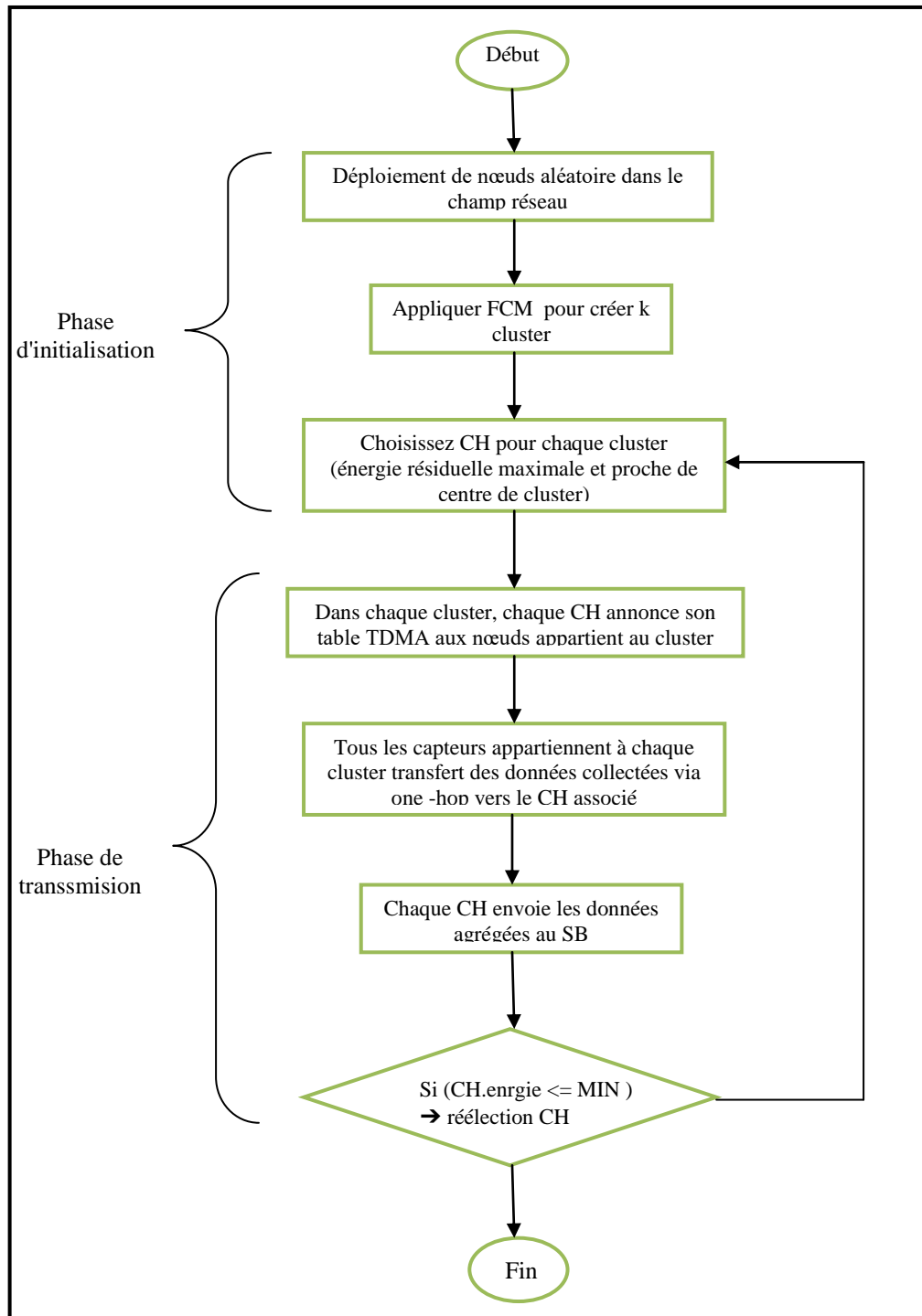


Figure 3.2 Organigramme de FCM proposée.

3.4.1 La phase d'initialisation

➤ **Étape 1 : distribution 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 nœud.

La figure 3.3 montre l'idée de base de l'organisation des nœuds et de l'emplacement de la station de base dans notre proposition d'adaptation de protocole.

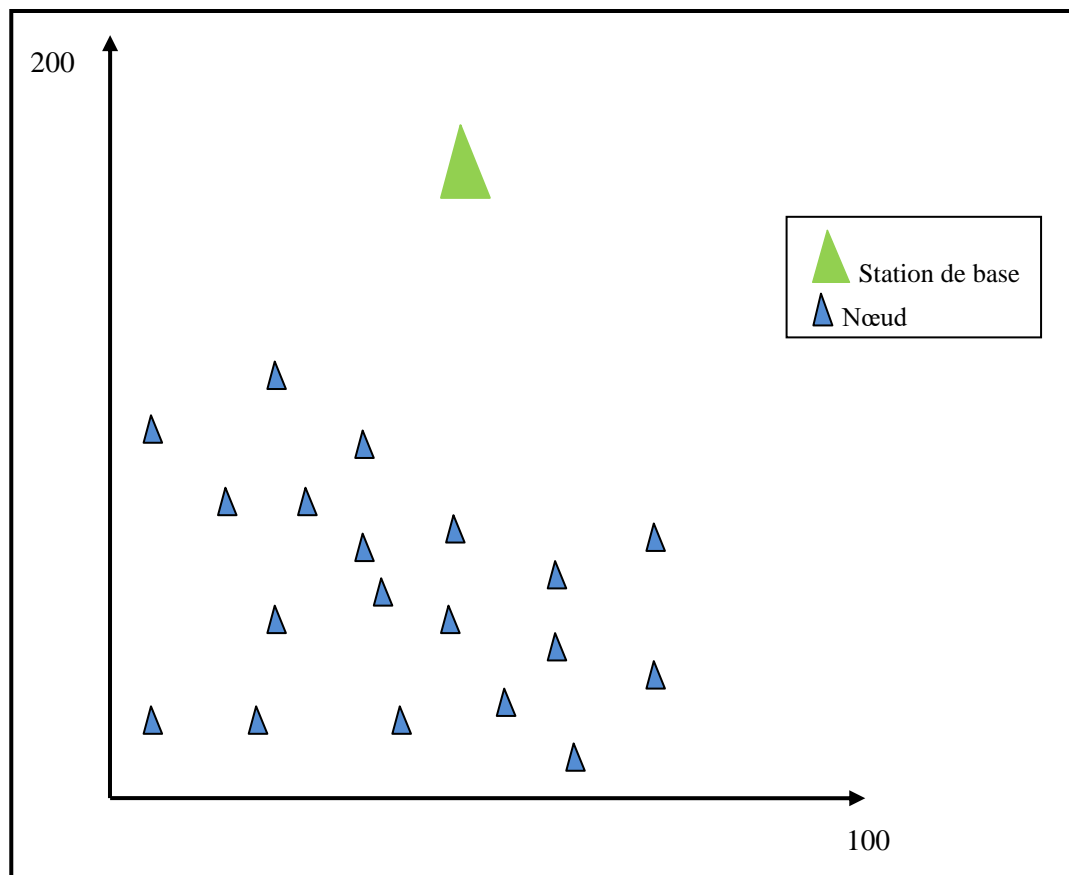


Figure 3.3 Organisation des nœuds dans l'adaptation proposée.

➤ **Étape 02 : Création des clusters en utilisant FCM**

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

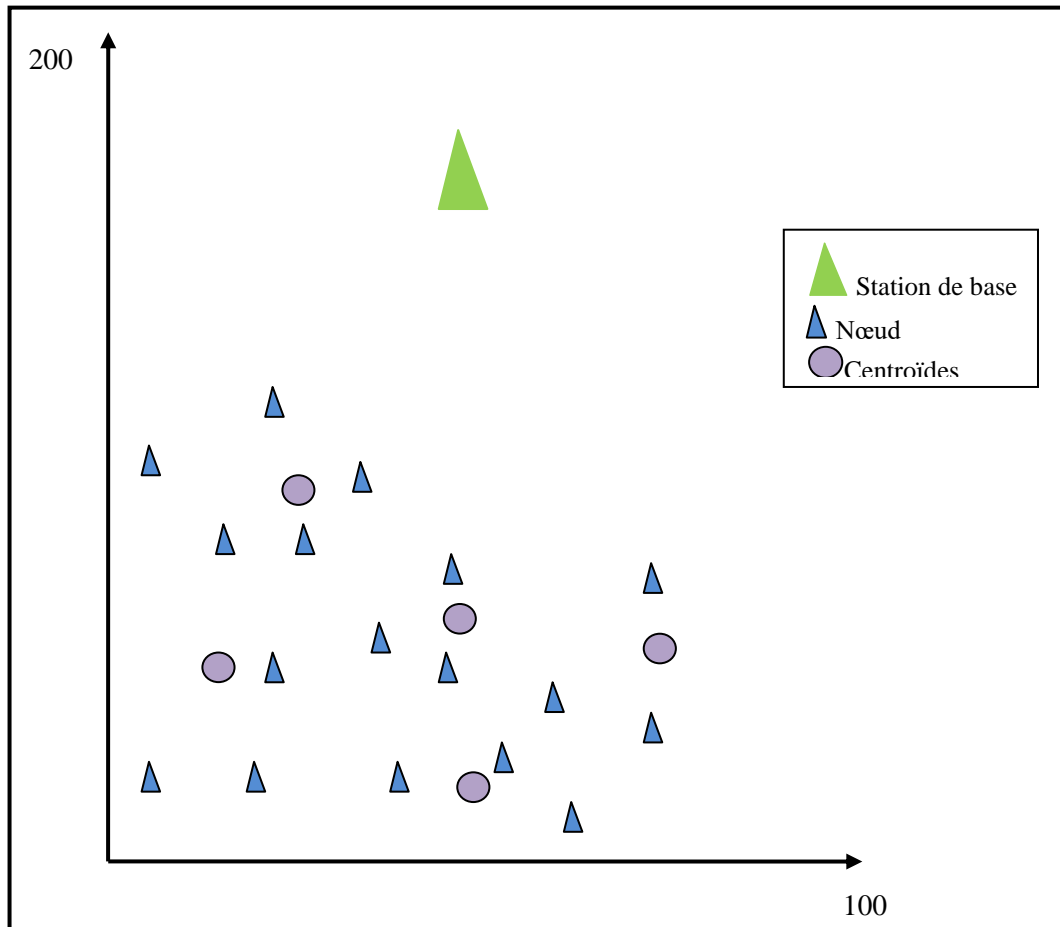


Figure 3.4 Résultat de FCM ensembles des centroïdes.

➤ **Étape 03** : Choix Cluster-Head

Après la création des clusters, nous choisirons le cluster head de chaque cluster, cette sélection de CH est basée sur la formule.

$$F(n) = \begin{cases} Energy_{CH} = Max Energy_{node i} \\ ET \\ Distance_{CH} = MIN Distance_{node i} \end{cases}$$

Où

Energy_{CH} : l'énergie de nœud CH choisie avec le maximum d'énergie résiduelle parmi les nœuds appartient au cluster.

Distance_{CH} : la distance de nœud CH choisie parmi les nœuds appartient au cluster avec minimum distance euclidienne entre nœud et le centre de chaque cluster donné avec Fuzzy C-means.

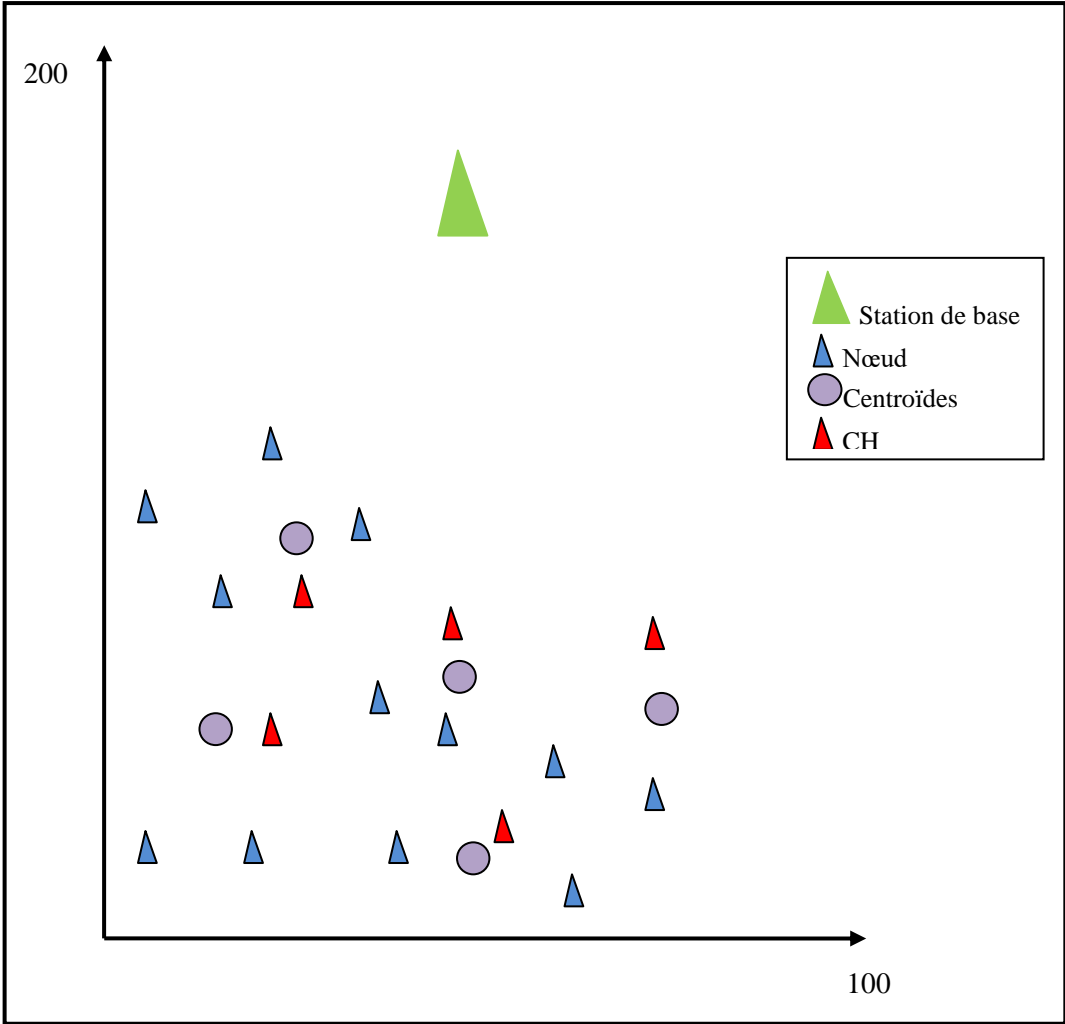


Figure 3.5 Élection CHS à partir des nœuds les plus proches centroides proposés.

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

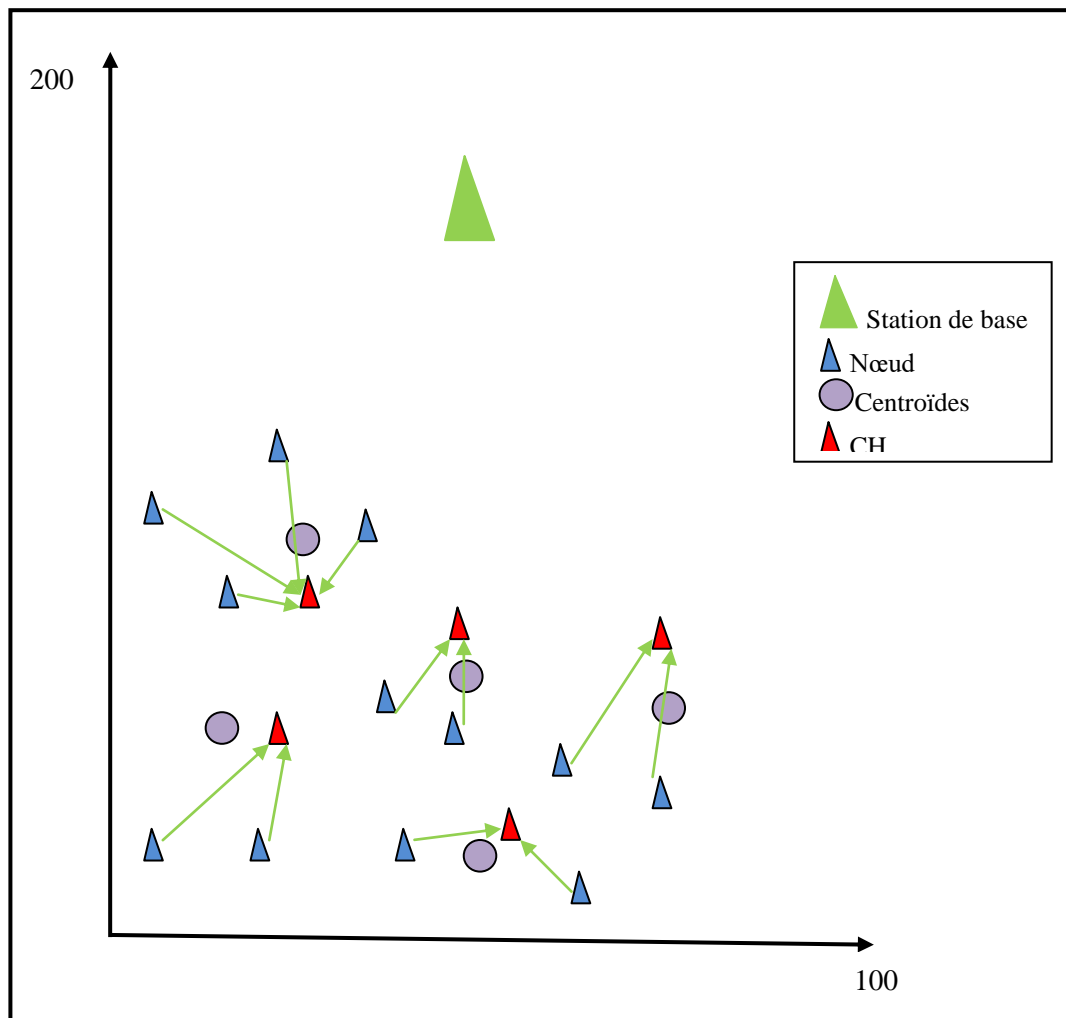


Figure 3.6 Formation de clusters par l'algorithme FCM.

3.4.2 La phase de transmission

L'étape de transmission se compose de plusieurs itérations dans lesquelles les nœuds envoient leurs données collectées directement au CH. 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 existant dans chaque cluster.

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

- **Réélection Cluster-Head** : après certaines itérations de transmission quand le niveau d'énergie de **CH.ancien** \leq **MIN énergie**, une phase de réélection de CH de ce cluster basée sur la formule

$$F(n) = \begin{cases} \text{Energie CH. ancien} \leq \text{MIN énergie} \\ ET \\ \text{Energie nouveau CH} = \text{Max Energie}_{node\ i} \\ ET \\ \text{Distance nouveau}_{CH} = \text{MIN Distance}_{node\ i} \end{cases}$$

Où

MIN énergie : énergie nécessaire d'envoi à la station base 100 fois.

Énergie nouveau CH : l'énergie de nœud CH choisie avec le maximum d'énergie résiduelle parmi les nœuds appartient au cluster.

Distance nouveau_{CH} : la distance de nœud CH choisie parmi les nœuds appartient au cluster avec minimum distance euclidienne entre nœud et le centre de chaque cluster donné avec FCM.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, une adaptation de protocole LEACH à base de la méthode de clustering Fuzzy C-means a été proposée pour prolonger la durée de vie des RCSFs.

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 en utilisant la méthode FCM et la distance entre les nœuds et l'énergie résiduelle. Le clustering Fuzzy C-means est une méthode de laquelle donne une meilleure partition avec séparation du cluster.

Dans le chapitre suivant, on évaluera l'adaptation avec une simulation MATLAB.

Chapitre 4 : Simulation Et Analyse Des Performances

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les simulations des expérimentations et les résultats obtenus lors de l'implémentation de notre adaptation proposée pour le protocole de routage LEACH au niveau de la phase de clustering avec la méthode de clustering FCM.

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

À partir de l'état de l'art et la synthèse vue dans le deuxième chapitre ont vu que la plupart des articles [26, 29, 30, 35] utilisent le Matlab comme environnement d'implémentation pour cette raison ,nous avons choisi MATLAB pour réaliser notre adaptation du protocole LEACH et de plus car il est un langage de script pour créer des prototypes rapides dans les domaines de l'électronique, de l'hydraulique et de la mécanique, il permet également aux informaticiens de traiter des photographies des signaux en temps réel ou en temps différé [37].

Les simulations ont été réalisées sur un PC avec processeur Intel I5-3230M de fréquence 2.60 GHz, et une mémoire RAM de 8 GO et travaillé sur système d'exploitation Windows 10 de type 64 bits, et l'environnement d'implémentation MATLAB R2015a.

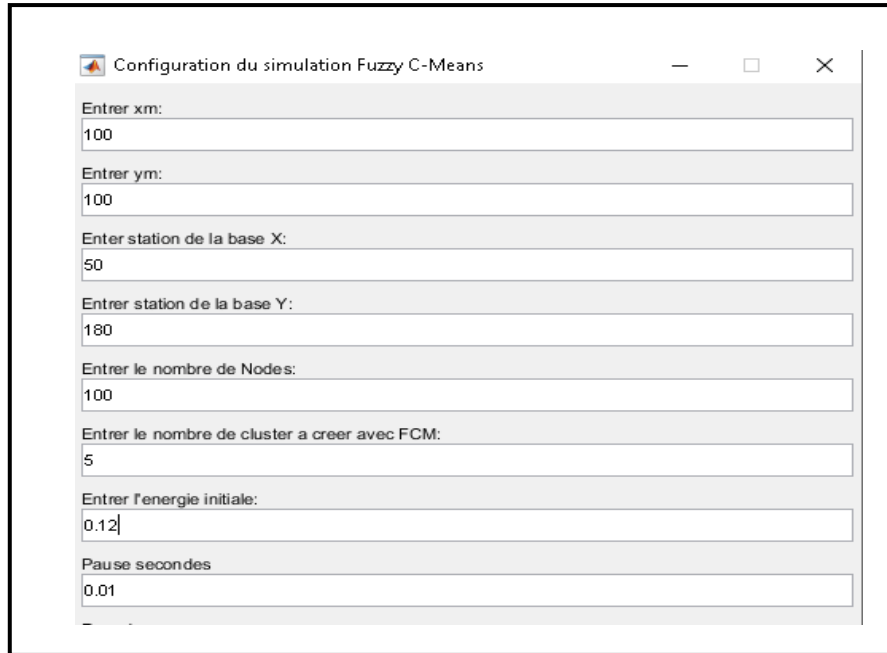
4.3 Simulation

Déploiement des nœuds capteurs

À titre d'exemple, 100 nœuds capteurs sont déployés aléatoirement dans une zone d'intérêt de 10000 m² de surface. La SB est positionné aux coordonnées (50 m, 180 m). Initialement, il n'y a pas de CH, donc les nœuds sont tous du type normal.

Paramètre	Valeur
La taille du réseau	100 m x 100 m
La localisation de station de base	(50, 180)
Le nombre des nœuds	100 N
L'énergie initiale des nœuds	0.12 J
Le nombre de clusters a créé avec FCM	5

Tableau 4-1 Les paramètres de simulation.



Configuration du simulation Fuzzy C-Means

Entrer xm:
100

Entrer ym:
100

Enter station de la base X:
50

Enter station de la base Y:
180

Entrer le nombre de Nodes:
100

Entrer le nombre de cluster a creer avec FCM:
5

Entrer l'energie initiale:
0.12

Pause secondes
0.01

Figure 4.1 Les paramètres de simulation.

- Chaque nœud du réseau consommera de l'énergie lorsqu'il transmet des paquets de données ainsi que lorsqu'il reçoit des paquets de données et également lorsqu'il effectue des opérations de traitement de données (collecte et agrégation de données). On ignore l'énergie consommée lors des calculs simples et les mises à jour.
- Tous les nœuds du réseau lancent la simulation avec une énergie initiale de 0,12 J et une transmission de données illimitée vers la station de base, et l'énergie de la station de base est illimitée. Chaque nœud consomme son énergie réservée est considérée comme mort, il ne peut ni envoyer ni recevoir des données.
- On suppose que la probabilité de collision de signal et d'interférence de canal est ignorée et que 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 expérimental établit 100 nœuds répartis aléatoirement sur 100 x 100 m² surfaces carrées et une station de base (grand triangle vert) est présentée par la figure suivante :

K=5

Configuration du simulation Fuzzy C-Means

Entrer xm: 100

Entrer ym: 100

Entrer station de la base X: 50

Entrer station de la base Y: 180

Entrer le nombre de Nodes: 100

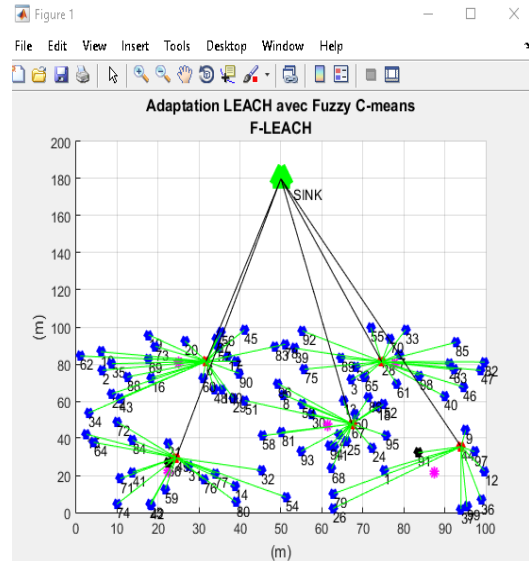
Entrer le nombre de cluster a creer avec FCM: **5**

Entrer l'energie initiale: 0.12

Pause secondes: 0.01

Rounds: 1000

OK Cancel



K=15

Configuration du simulation Fuzzy C-Means

Entrer xm: 100

Entrer ym: 100

Entrer station de la base X: 50

Entrer station de la base Y: 180

Entrer le nombre de Nodes: 100

Entrer le nombre de cluster a creer avec FCM: **15**

Entrer l'energie initiale: 0.12

Pause secondes: 0.01

Rounds: 1000

OK Cancel

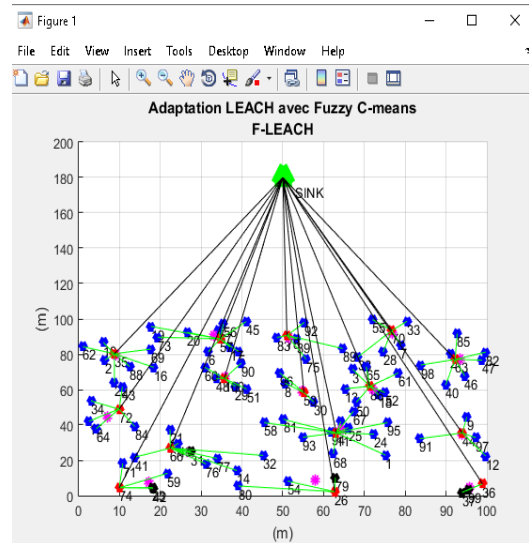


Figure 4.2 L'utilisation de la valeur K pour la formation des clusters.

Après la simulation du protocole LEACH et l'adaptation proposée avec Fuzzy C-Means nous comparons les performances de trois protocoles LEACH, K-LEACH [36], F-LEACH par certaines métriques :

4.4.1 L'énergie résiduelle

La figure ci-dessous montre la relation entre l'énergie restante et le nombre de tours pour les trois protocoles LEACH, K-LEACH et F-LEACH. Les trois protocoles montrent

une baisse progressive de l'énergie, et la différence entre les deux protocoles, LEACH et F-LEACH, est acceptable. D'un autre côté, il n'y a pas beaucoup de différence entre les deux protocoles F-LEACH et K-LEACH.

Cependant, F-LEACH a montré une bonne amélioration par rapport à l'apport de LEACH et une légère amélioration par rapport à K-LEACH en termes de longévité aux mêmes mesures.

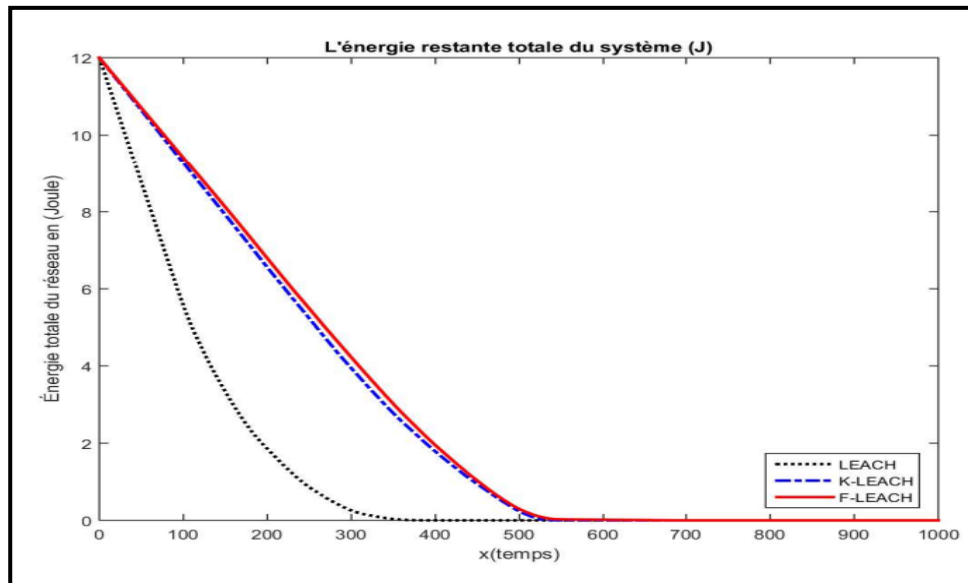


Figure 4.3 L'énergie résiduelle versus les rounds des protocoles LEACH, K-LEACH et F-LEACH.

4.4.2 Comparaison de la durée de vie

La figure ci-dessous représente le nombre de nœuds morts dans les trois protocoles.

On remarque que dans LEACH, le nombre de nœuds morts diminue rapidement en fonction du nombre de rounds.

- Le premier nœud mort dans le tour Numéro : 93 et le dixième nœud mort dans le tour 108, tous les nœuds meurent au tour 392 ceci est ce qui provoque une durée de vie chez LEACH très courte.
- D'autre part, K-LEACH à une durée de vie plus longue et le nombre de nœuds morts réduit lentement selon le tour ou le premier nœud mort du tour numéro : 233 et le dixième nœud mort du tour 290, tous les nœuds sont morts dans tour 563.

- Par contre, la durée de vie en F-LEACH est plus longue que celle en LEACH et K-LEACH, et le nombre de nœuds morts diminue lentement en fonction du tour ou du nombre du premier nœud mort du tour : 256 et le dixième nœud mort au tour 325, tous les nœuds meurent au tour 693.

Donc on peut dire que la période de stabilité de F-LEACH est plus longue que K-LEACH et le protocole d'origine LEACH.

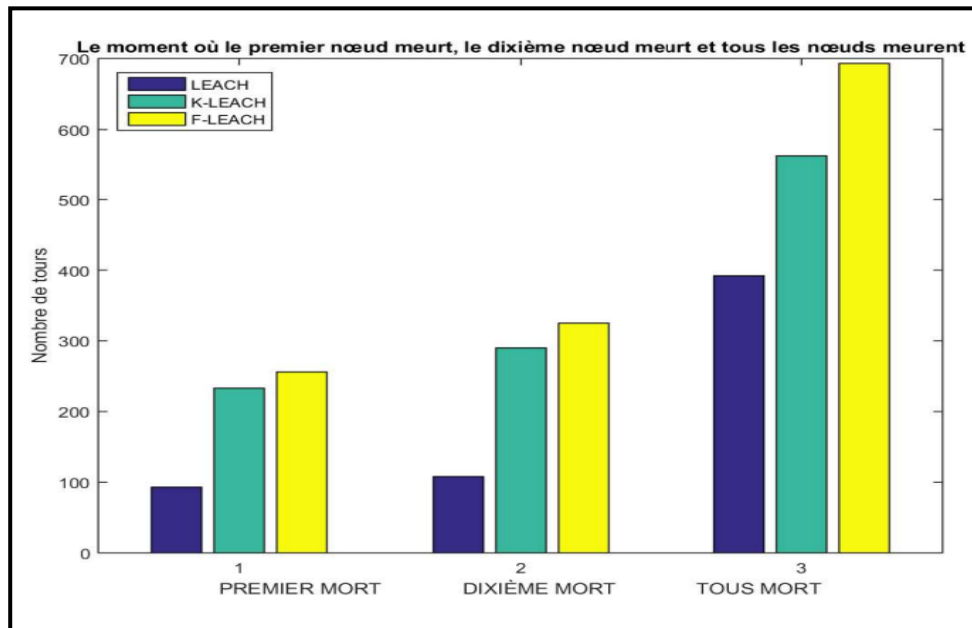


Figure 4.4 Nombre des nœuds mort " premier, dixième, dernier ".

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

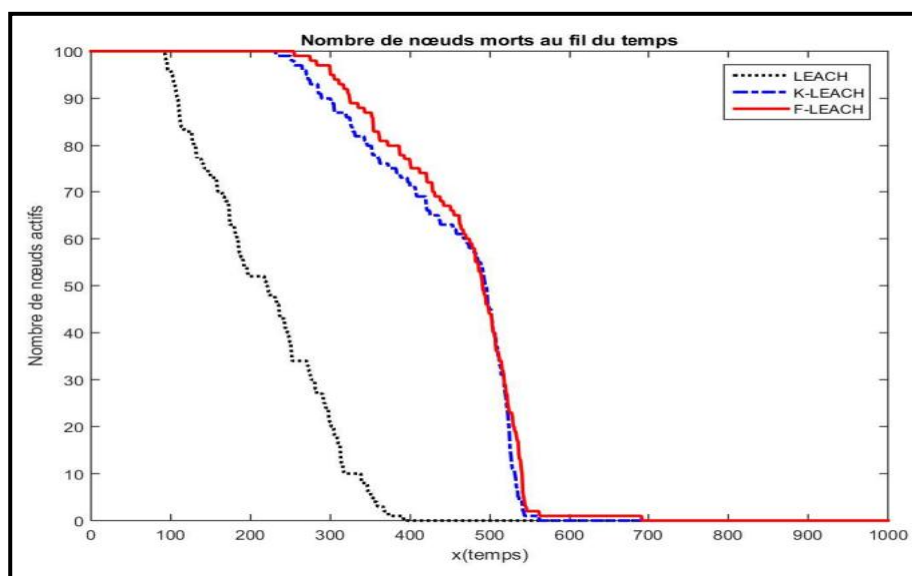


Figure 4.5 Nombre de morts nœuds versus round.

La figure ci-dessous représente le nombre des vifs nœuds dans les trois protocoles.

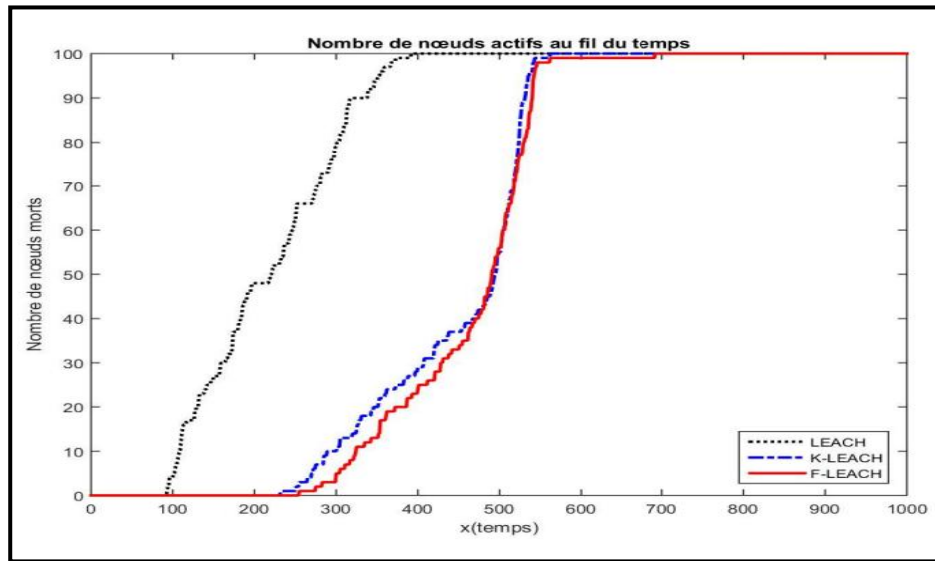


Figure 4.6 Nombre de vifs nœuds versus round.

4.4.3 Comparaison de nombres de CH

La figure ci-dessous illustre le nombre de CHs dans les trois protocoles.

- Nous notons que dans LEACH à un grand nombre de CHs, cela signifie une consommation d'énergie élevée, d'autre part un nombre fixe de CH $k=10$ dans K-LEACH qui va mort lentement.
- Par cotre dans F-LEACH un nombre de CH $k=10$ un peut plus fixe par rapport K-LEACH et très stable par rapport LEACH.

Donc on peut dire que le F-LEACH assure une bonne répartition du CH sur le réseau. D'autre part, le nombre de CH pour chaque tour dans LEACH varie considérablement, ce qui entraîne une mauvaise couverture du réseau et affecte la durée de vie de l'ensemble du réseau.

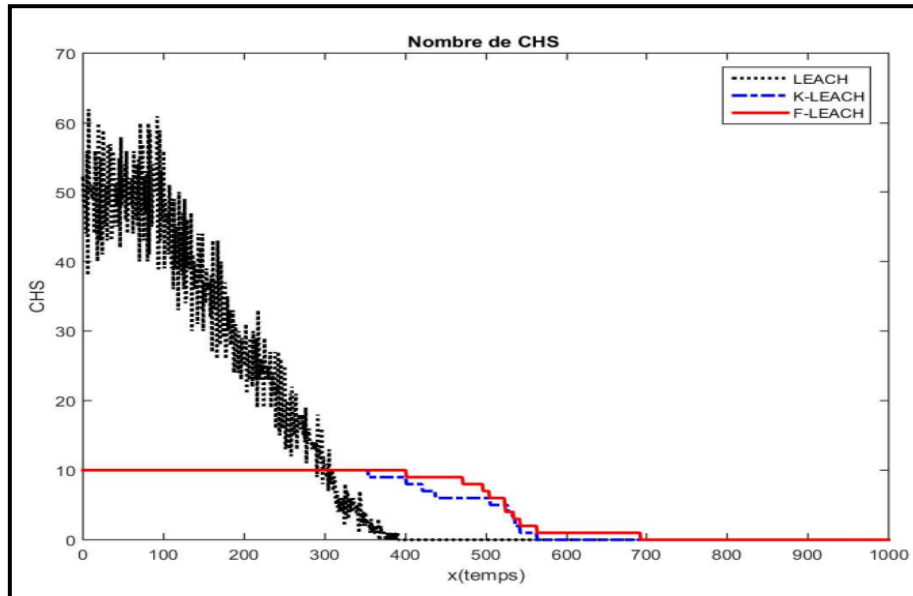


Figure 4.7 Nombre de CHs noeuds versus round.

4.4.4 Comparaison des données reçues

La figure ci-dessous représente une comparaison entre les trois 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 à la station de base, le graphe ci-dessous montre que le protocole F-LEACH , fournit une agrégation des données ce qui apporte une amélioration significative dans le nombre des données reçues dans le réseau.

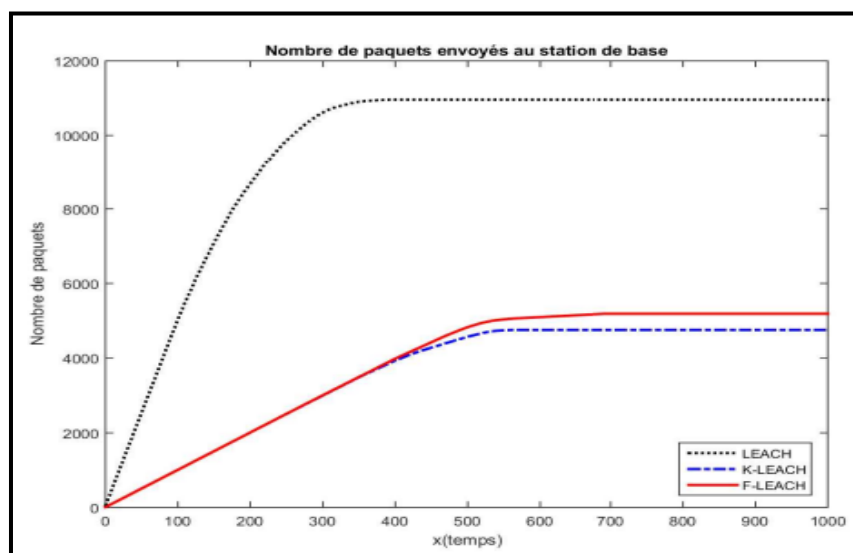


Figure 4.8 Les données reçues du protocole LEACH, K-LEACH, F-LEACH.

4.4.5 Discussion

Après avoir comparé les performances des trois protocoles LEACH, K-LEACH et F-LEACH, nous avons noté que l'adaptation F-LEACH fait une bonne amélioration par rapport le protocole d'origine LEACH et une amélioration légère par rapport K-LEACH au niveau de l'énergie résiduelle, les nœuds morts et vifs pour chaque tour, la durée de vie, la quantité de données reçues.

On peut donc dire que F-LEACH présente quelque avantages par rapport LEACH et K-LEACH tel que :

- La réduction de la consommation d'énergie.
- Des durées de vie plus longues avec une bonne distribution des CH pendant la simulation grâce à la méthode de Fuzzy C-Means.

4.5 Conclusion

Les résultats de la simulation prouvent que l'adaptation du protocole LEACH avec la méthode de clustering Fuzzy C-Means est mieux que LEACH, en revanche il est quasiment compatible avec K-LEACH car il donne une amélioration légère.

Par conséquent, nous pouvons dire que par rapport au protocole LEACH d'origine et à K-LEACH, F-LEACH peut prolonger la durée de vie du réseau, améliorer l'efficacité énergétique et améliorer le taux des nœuds vifs, et ses performances excèdent celles de LEACH et K-LEACH en termes de la durée de vie du réseau et la quantité de données transmises à la station de base.

Conclusion Générale

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale

Les RCSFs sont de plus en plus employé dans divers domaines : le militaire, l'environnement, la santé, ..., etc.

Leur rapide développement est lié à leur taille réduite, leur prix moins cher. Ce qui a fait que les RCSFs constituent un sujet de recherche. Dans certaines applications de ces réseaux, il existe encore quelques obstacles à surmonter avant qu'ils deviennent une technologie mature. L'un des principaux obstacles est la gestion d'énergie. En effet, le clustering comme une technique pour l'amélioration la performance du réseau notamment pour l'optimisation de l'énergie. En outre, Le clustering avec FCM est une technique efficace pour la réduction d'énergie.

Dans cette mémoire, nous avons traité la problématique de minimisation la consommation d'énergie et la maximisation de la durée de vie dans les Réseaux de Capteurs sans fil, on jouait sur l'axe de routage efficace en termes d'énergie. Notre but principal est d'offrir une amélioration de protocole LEACH au niveau de clustering avec FCM pour garantir la maximisation de la durée de vie dans les RCSFs.

Pour aboutir ces objectifs, nous avons présenté un état de l'art des travaux annexe autour des protocoles utilisent FCM comme méthodes de clustering pour la résolution de problématique. Néanmoins, la synthèse de l'état de l'art nous a permis de conclure que des nombreux efforts ont été faits pour améliorer la durée de vie des RCSFs grâce à une variété de mécanismes éco-énergétiques. L'efficacité énergétique dépend fortement des exigences et la nature des applications.

Les protocoles de routage économes en énergie. Nous examinerons comment le clustering FCM donne une solution adéquate pour la maximisation de la durée de vie du réseau.

Après avoir comparé les performances des trois protocoles LEACH, K-LEACH et F-LEACH, nous avons noté que l'adaptation F-LEACH fait une bonne amélioration par rapport le protocole d'origine LEACH et une amélioration légère par rapport K-LEACH au niveau de l'énergie résiduelle, les nœuds morts et vifs pour chaque tour, la durée de vie, la quantité de données reçues.

Perspectives

Les travaux effectués dans cette thèse ouvrent plusieurs perspectives de recherche. Dans ce qui suit, nous en citons quelques-unes:

➤ **Au niveau de clustering**

- Amélioration du protocole proposé en utilisant des clusters avec nombre fixe et comparer avec les résultats obtenus avec le nombre variable.
- Amélioration de la *phase de réélection de CH* en ajoutant des autres paramètres.

➤ **Au niveau de la transmission**

- Choisir la transmission multi-saut au lieu la transmission un seul –saut.
- Étude l’impact de **permutation de la position** de la station de base (SB).
- Étude l’impact de **la mobilité** de la station de base(SB).

Bibliographe

- [1] Benefit, A. (2013). The evolution of wireless sensor networks. Silicon Lab. Inc., Austin, TX, USA, White Paper Rev, 1, 1-5.
- [2] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, 38(4), 393-422.
- [3] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). A survey on sensor networks. *IEEE Communications magazine*, 40(8), 102-114.
- [4] Kacimi, R. (2009). Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil (Doctoral dissertation).
- [5] Massine, M. B., & Dalile, M. I. Etude et évaluation des performances des algorithmes de couverture minimale dans un réseau de capteurs sans fil.
- [6] BOUNEGTA, N. (2010). Approche distribuée pour la sécurité d'un réseau de capteurs sans fil (RCSF). Mémoire de Magistère. Université de Bechar.
- [7] CHIKH, M. A., MOUNGLA, M. H., KHITRI, M. S., BOUDEFLA, M. A., & Mohammed, M. Réalisé par:-Hichem HADDOU BENDERBAL-Imen KOULOUGHLI.
- [8] Beydoun, K. (2009). Conception d'un protocole de routage hierarchique pour les réseaux de capteurs sans fil. L'Ufr des Sciences et Techniques de l'Université de FRANCHE-COMTE.
- [9] Ramson, S. J., & Moni, D. J. (2017, February). Applications of wireless sensor networks—A survey. In *2017 international conference on innovations in electrical, electronics, instrumentation and media technology (ICEEIMT)* (pp. 325-329). IEEE.
- [10] Bagula, A. (2012). APPLICATIONS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS, UCT, WSN applications.
- [11] Malick, G. A. Y. E. (2014). Etat de l'art sur les WSN (Wireless Sensor Network). Université Cheikh Anta DIOP de Dakar.
- [12] Boubiche, D. E. (2008). Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil (Doctoral dissertation, Batna, Université El Hadj Lakhdar. Faculté des sciences de

l'ingénieur).

[13] Hussein, A. A., & Khalid, R. (2019). Improvements of PEGASIS routing protocol in WSN. *international advance journal of engineering research*, 2(11), 1-14.

[14] Soumya, R., Pranja, B. (2018). Study and implementation of fuzzy c-mean clustering algorithm in wireless sensor network. *International Journal of Computer Application* (2250-1797) Issue 8 Volume.

[15] Chelbi, S., Abdouli, M., Kaddes, M., Duvallet, C., & Bouaziz, R. (2016). An Unequal Cluster-based Routing Protocol Based on Data Controlling for Wireless Sensor Network. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(5), 2403.

[16] Hosen, A. S. M., & Cho, G. H. (2018). An energy centric cluster-based routing protocol for wireless sensor networks. *Sensors*, 18(5), 1520.

[17] Shahrzad, D., Behrang, B., & Mohammad, P. (2018). An Enhanced Energy Aware Cluster-Based Routing Algorithm in wireless sensor networks. *wireless personal communication* 98, no. 1(2018):1605-1635.

[18] Arjunan, S., & Pothula, S. (2019). A survey on unequal clustering protocols in wireless sensor networks. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 31(3), 304-317.

[19] Aldeer, M., Howard, R., & Al-Hilli, A. (2016, October). Minimizing energy consumption in transmit-only sensor networks via optimal placement of the cluster heads. In *Proceedings of the Eighth Wireless of the Students, by the Students, and for the Students Workshop* (pp. 36-38).

[20] Corn, J., & Bruce, J. W. (2017, January). Clustering algorithm for improved network lifetime of mobile wireless sensor networks. In *2017 International conference on computing, networking and communications (ICNC)* (pp. 1063-1067). IEEE.

[21] Chuang, K. S., Tzeng, H. L., Chen, S., Wu, J., & Chen, T. J. (2006). Fuzzy c-means clustering with spatial information for image segmentation. *computerized medical imaging and graphics*, 30(1), 9-15.

[22] Mahboub, A., En-Naimi, E. M., Arioua, M., & Barkouk, H. (2017, October). Fuzzy C-Means Based Hierarchical Routing Approach for Homogenous WSN. In *Proceedings of the Mediterranean Symposium on Smart City Applications* (pp. 265-

275). Springer, Cham.

[23] Huang, W., Ling, Y., & Zhou, W. (2018). An improved LEACH routing algorithm for wireless sensor network. *International Journal of Wireless Information Networks*, 25(3), 323-331.

[24] Allaoua, M., Mamouni, S., & Boutaouche, F. (2016). Etude et implémentation de quelques variantes du modèle FCM pour la segmentation floue des images.

[25] Setyawan, A. A., & Ilham, A. (2019). A novel framework of the fuzzy c-means distances problem based weighted distance. arXiv preprint arXiv:1907.13513.

[26] Hoang, D. C., Kumar, R., & Panda, S. K. (2010, July). Fuzzy C-means clustering protocol for wireless sensor networks. In *2010 IEEE international symposium on industrial electronics* (pp. 3477-3482). IEEE.

[27] Godbole, V. (2012). Performance analysis of clustering protocol using fuzzy logic for wireless sensor network. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 1(3), 103-111.

[28] Hadjila, M., Guyennet, H., & Feham, M. (2013). Energy-Efficient in wireless sensor networks using fuzzy C-Means clustering approach. *International Journal of Sensors and Sensor Networks*, 1(2), 21-26.

[29] Kaushik, A. K., & Khan, A. I. (2016, February). An improved fuzzy-control based energy efficient heterogeneous wireless sensor network. In *2016 3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)* (pp. 610-615). IEEE.

[30] Barzegari, S., & Masdari, M. (2016). A novel fuzzy Cmeans-based clustering scheme for wireless sensor networks. *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 9(2), 193-202.

[31] Wang, Q., Guo, S., Hu, J., & Yang, Y. (2018). Spectral partitioning and fuzzy C-means based clustering algorithm for big data wireless sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1), 1-11.

[32] Jain, A., & Goel, A. K. (2018). Energy efficient algorithm for wireless sensor network using fuzzy C-means clustering. *International (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*.

[33] Thakurta, P. K. G., & Roy, S. (2018, December). A Decentralized Fuzzy C-Means Minimal Clustering Protocol for Energy Efficient Wireless Sensor Network. In 2018 Fifth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (*PDGC*) (pp. 24-29). IEEE.

[34] Safana, H. A., Israa, M. K. (2019). Fuzzy C-Means Clustering for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Network. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 8(9), ART2020987.

[35] Hassan, A. A. H., Shah, W. M., Habeb, A. H. H., & Othman, M. F. I. (2020). Improved fuzzy c-means algorithm based on a novel mechanism for the formation of balanced clusters in WSNs. *TELKOMNIKA*, 18(6), 2894-2902.

[36] Fatima, B., Wided, A., Sabrina, G., & Makhlouf, D. (2021). K-Means Efficient Energy Routing Protocol for Maximizing Vitality of WSNs. In *Computational Optimization Techniques and Applications*. IntechOpen.

[37] Amina, M. (2015). Etude comparative entre les deux protocoles de routage LEACH et PEGASIS dans les réseaux de capteurs sans fil. Tlemcen, Université Abou Bekr Belkaid.

[38] Matlab. <http://fr.mathworks.com/products/matlab/>. Consulté le : 05-04-2022