

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Ghardaia

Faculté des Sciences et de Technologie

Département des Mathématiques et Informatique



## MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de **MASTER**

**En** : Informatique

**Spécialité** : Systèmes Intelligents pour l'Extraction de Connaissances (SIEC)

**Présenté par** :

Mounia GUERTI et Assia HALILEM

### Thème

**Améliorer les performances des RCSFs  
à l'aide de protocole de routage basé sur  
le clustering**

Soutenue publiquement le 12/10/2020, devant le jury composé de :

Président : A. KERRACHE      Professeur      Univ.Ghardaia

Encadreur : M. BETKA      M.A.A      Univ.Ghardaia

Examineur : K. KECHIDA      Professeur      Univ.Ghardaia

N. BRAHIM      Professeur      Univ.Ghardaia

**Année Universitaire : 2019/2020**

## مخلص

تمثل شبكات الاستشعار اللاسلكية (RCSFs) تقنية ناشئة لها مزايا عديدة للمستخدمين من حيث التكلفة وسهولة الاستخدام. زاد استخدامها في العديد من المجالات مثل الصحية و العسكرية و البيئية، ولكن الموارد المحدودة لعقد الاستشعار تشكل عائقا رئيسيا ، بشكل رئيسي من حيث استقلالية الطاقة. التجميع هو أسلوب شائع جدا يقوم بتقسيم الشبكة إلى شبكات فرعية تسمى المجموعات من اجل تنظيمها جيد وسهولة إدارتها. الهدف من هذه المذكرة هو تحسين الأداء من حيث الطاقة وعمر الشبكة باستخدام بروتوكول توجيه يعتمد على التجميع. قدمنا في هذا العمل بروتوكول توجيه قائم على التجميع يستخدم خوارزمية تعلم غير خاضعة للإشراف (K-MEANS) . يسمح البروتوكول بالبناء الفعال للمجموعات واختيار زعيم كتلة لكل مجموعة. هذا الزعيم مسؤول عن جمع البيانات المرسله من طرف اعضاء المجموعة و بدوره يرسلها إلى المحطة الأساسية، يعتمد البروتوكول على التكوين المركزي للمجموعات و الاختيار الموزع لقادة المجموعات. يتم إجراء اختبار الأداء باستخدام لغة البرمجة بيثون ومقارنتها مع بروتوكول التوجيه LEACH .

**الكلمات المفتاحية :** شبكات الاستشعار اللاسلكية، بروتوكول التوجيه، التجميع، المجموعة، الطاقة،

. K-MEANS

## Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) représentent une technologie émergente qui offre plusieurs avantages aux utilisateurs en termes de coût et de facilité d'utilisation. Leur utilisation a augmenté dans de nombreux domaines comme la santé, militaire et l'environnement, mais la limitation de ressources des nœuds capteurs constitue une contrainte importante, principalement en termes d'autonomie d'énergie. Le clustering est une technique très populaire consiste à découper le réseau en sous-réseaux appelés clusters pour bien l'organiser et de faciliter à gérer. L'objectif de ce mémoire consiste à améliorer les performances en terme d'énergie et de durée de vie de réseau par de protocole de routage basé sur le clustering. Nous avons présente dans ce travail un protocole de routage basé sur le clustering en utilisant un algorithme d'apprentissage non supervisé (k-means), le protocole permet la construction efficace des clusters et de sélectionner pour chaque cluster un chef de cluster (CH). Ce CH est chargé de collecter les données détectées par ses membres et de les envoyer à la station de base (SB), le protocole repose sur la formation centralisée de clusters et la sélection distribuée de chef de cluster. Un test de performance est réalisée à l'aide du langage de programmation PYTHON et comparé avec le protocole de routage LEACH.

**Mots-clés :** RCSF, protocole de routage, le clustering, K-means, le cluster, énergie.

## **Abstract**

Wireless Sensor Networks (WSNs) represent an emerging technology that offers several advantages to users in terms of cost and ease of use. Their use has increased in many fields such as health, military and the environment, but the limited resources of sensor nodes constitute a major constraint, mainly in terms of energy autonomy. Clustering is a very popular technique that consists of dividing the network into sub-networks called clusters to organize it well and make it easier to manage. The objective of this thesis is to improve performance in terms of energy and network lifetime by using a routing protocol based on clustering. We have presented in this work a routing protocol based on clustering using an unsupervised learning algorithm (k-means), the protocol allows the efficient construction of clusters and to select for each cluster a cluster leader (CH). This CH is responsible for collecting the data detected by its members and sending them to the base station (SB), the protocol is based on the centralized formation of clusters and the distributed selection of cluster leaders. A performance test is performed using the PYTHON programming language and compared with the LEACH routing protocol.

**Keywords :** WSN, routing protocol, clustering, K-means, cluster, énergie.

# Remerciements

*En tout premier lieu, nous remercions ALLAH le tout puissant pour nous avoir donné la force de réaliser ce travail.*

*Nous tenons de remercier grandement notre encadreur Mr. BETKA Messaoud pour son encadrement, sa disponibilité, son encouragement et ses précieux conseils.*

*Nous exprimons aussi toute notre gratitude aux enseignants du département des mathématiques et d'informatique ainsi que tous nos collègues et nos amis (es) pour leur soutien et leurs encouragements.*

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

*Enfin, j'adresse sincères remerciements à tous ceux qui nous m'ont encouragé et contribué de près ou de loin à ma réussite.*

*MERCI A TOUS...*

# Dédicaces

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

*À mes très chers parents qui sont la bougie qui illumine ma vie.*

*À mon mari et mes enfants qui a toujours été à mes côtés.*

*À ma sœur et mes frères qui m'ont encouragé et qui ont été toujours présents.*

*Enfin ,Je Dédie ce Modeste travail a toute la famille GUERTI et FETTATA , et  
pour mes amies et mes collègues.*

*À tous ceux qui me sont chers  
Que Dieu leur accorde santé et prospérité .*

*Mounia*

*Je dédie ce mémoire :*

*A mes chers parents pour leur aide précieuse et indéfectible, leurs sacrifices et leur éducation, leur soutien moral et matériel pendant toute ma vie. Ils ont été à mes côtés et partagé avec moi mes rêves, mes joies, et mes espérances, que Dieu les garde.*

*A mon mari pour son aide, son soutien en toute circonstance, sa compréhension, et ses encouragements.*

*A mes petites filles, Wissam ,Rihab et Houda , mon extraordinaire enfant, qui apportent tant de joie dans notre vie.*

*A mes chers frères, mes chères sœurs, toujours présents et encourageants.*

*A tous les membres de ma belle famille, admirables et uniques, qui ont toujours su m'aider, m'encourager et me soutenir.*

*En finaux mes amis et mes collègues.*

*Assia*

# Table des matières

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Table des figures</b>  | <b>V</b>    |
| <b>Liste des tableaux</b>   | <b>VII</b>  |
| <b>Liste des abréviations</b>   | <b>VIII</b> |
| <b>Introduction Générale</b>  | <b>IX</b>   |
| <b>1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil</b>             | <b>1</b>    |
| 1.1 Introduction . . . . .  | 1           |
| 1.2 Nœud capteur . . . . .  | 1           |
| 1.2.1 Définition d'un nœud capteur . . . . .                          | 1           |
| 1.2.2 Architecture d'un nœud capteur . . . . .                        | 2           |
| 1.3 Réseaux de capteurs sans fil . . . . .                            | 4           |
| 1.3.1 Définition d'un réseau de capteurs sans fil . . . . .           | 4           |
| 1.3.2 Architecture d'un réseau de capteur sans fil . . . . .          | 4           |
| 1.4 Caractéristiques de réseau de capteurs sans fil . . . . .         | 5           |
| 1.4.1 Forte densité des nœuds . . . . .                               | 5           |
| 1.4.2 Ressources limitées . . . . .                                   | 5           |
| 1.4.3 Contrainte d'énergie . . . . .                                  | 5           |
| 1.4.4 Déploiement des nœuds . . . . .                                 | 5           |
| 1.4.5 Connectivité . . . . .  | 5           |
| 1.4.6 La scalabilité . . . . .  | 5           |
| 1.4.7 Auto organisation du réseau et la topologie dynamique . . . . . | 6           |
| 1.4.8 Sécurité physique limitée . . . . .                             | 6           |
| 1.5 Topologies des RCSFs . . . . .                                    | 6           |
| 1.5.1 Topologie plate (en étoile) . . . . .                           | 6           |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 1.5.2    | Topologie base sur la localisation (maillée)                            | 7         |
| 1.5.3    | Topologie hiérarchique  | 7         |
| 1.6      | La pile protocolaire dans un RCSF                                       | 8         |
| 1.6.1    | Rôle des couches  | 8         |
| 1.6.2    | Plans de gestion  | 9         |
| 1.7      | Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil                | 9         |
| 1.7.1    | Domaine militaire   | 10        |
| 1.7.2    | Domaine médicale  | 10        |
| 1.7.3    | Domaine environnemental   | 11        |
| 1.7.4    | Domaine commerciale   | 11        |
| 1.8      | Consommation d'énergie dans les RCSF                                    | 11        |
| 1.8.1    | Énergie de capture  | 12        |
| 1.8.2    | Énergie de traitement   | 12        |
| 1.8.3    | Énergie de communication  | 12        |
| 1.9      | Conclusion  | 12        |
| <b>2</b> | <b>État de l'art sur les protocoles de routage à base de clustering</b> | <b>13</b> |
| 2.1      | Introduction  | 13        |
| 2.2      | Définitions   | 13        |
| 2.2.1    | Définition de routage   | 13        |
| 2.2.2    | Le clustering   | 14        |
| 2.2.3    | Agrégation des données  | 14        |
| 2.3      | Classification des protocoles de routage                                | 15        |
| 2.3.1    | Les protocoles de routage plat  | 15        |
| 2.3.2    | Les protocoles de routage hiérarchique                                  | 15        |
| 2.3.3    | Les protocoles de routage basé sur la localisation                      | 15        |
| 2.4      | Les approches de routage hiérarchique                                   | 16        |
| 2.5      | les protocoles de routage à base de clustering                          | 17        |
| 2.5.1    | Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)                        | 17        |
| 2.5.2    | Avantages et inconvénients de LEACH                                     | 18        |
| 2.5.3    | Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Centralized (LEACH-C)          | 19        |
| 2.5.4    | Neural Networks-leach (NN-LEACH)  | 19        |
| 2.5.5    | Firefly-Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (Fire-LEACH)           | 20        |
| 2.5.6    | Vice-Cluster Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (V-LEACH)         | 20        |
| 2.5.7    | Avantages et inconvénients des protocoles dérivés de protocole LEACH    | 21        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.5.8    | Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering (HEED)                                   | 21        |
| 2.5.9    | Avantages et inconvénients de HEED  | 22        |
| 2.5.10   | Particle Swarm Optimization protocol for Hierarchical Clustering (PSO-HC)               | 22        |
| 2.5.11   | Avantages et inconvénients de de PSO-HC   | 23        |
| 2.5.12   | Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS)                       | 24        |
| 2.5.13   | Avantages et inconvénients de PEGASIS   | 25        |
| 2.5.14   | Hierarchical PEGASIS (H-PEGASIS)  | 25        |
| 2.5.15   | Avantages et inconvénients de H-PEGASIS   | 25        |
| 2.6      | Comparaison entre les différents protocoles de routage                                  | 26        |
| 2.7      | Conclusion  | 27        |
| <b>3</b> | <b>Protocole de routage basé sur le clustering utilise l'algorithme k-means</b>         | <b>28</b> |
| 3.1      | Introduction  | 28        |
| 3.2      | Méthodes de clustering  | 28        |
| 3.2.1    | Clustering hiérarchique (Hierarchical clustering)                                       | 29        |
| 3.2.2    | Clustering base sur la densité (Density-based clustering)                               | 29        |
| 3.2.3    | Clustering base sur les grilles (Grid-based clustering)                                 | 29        |
| 3.2.4    | Clustering par partitionnement (Partitional clustering)                                 | 29        |
| 3.3      | Méthode de Clustering par partitionnement   | 29        |
| 3.3.1    | Méthode de k-means (k-moyennes)   | 30        |
| 3.3.2    | Avantages et inconvénients de k-means   | 31        |
| 3.4      | Algorithme k-means (k-moyennes)   | 31        |
| 3.5      | Mesure de similarité  | 31        |
| 3.5.1    | La distance Euclidienne   | 32        |
| 3.5.2    | La distance de Manhattan  | 32        |
| 3.5.3    | La distance de Minkowski  | 32        |
| 3.6      | Nombre optimal des clusters   | 32        |
| 3.6.1    | Méthode silhouette  | 33        |
| 3.6.2    | Méthode du coude  | 33        |
| 3.7      | Description de protocole de routage basé sur le clustering utilise l'algorithme k-means | 34        |
| 3.7.1    | Phase de configuration  | 35        |
| 3.7.2    | Phase stationnaire  | 36        |
| 3.8      | Modèle Energétique  | 37        |
| 3.9      | Conclusion  | 38        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>4</b> | <b>Simulation et analyse des résultats</b>                 | <b>39</b> |
| 4.1      | Introduction . . . . .                                     | 39        |
| 4.2      | Le Schéma du déroulement du protocole de routage . . . . . | 39        |
| 4.2.1    | Formation des clusters . . . . .                           | 39        |
| 4.2.2    | L'élection des chefs des clusters . . . . .                | 40        |
| 4.2.3    | Communication . . . . .                                    | 41        |
| 4.2.4    | L'envoi des données . . . . .                              | 41        |
| 4.3      | Environnement de simulation . . . . .                      | 42        |
| 4.4      | Étapes de la simulation . . . . .                          | 42        |
| 4.4.1    | Déploiement des nœuds capteurs . . . . .                   | 43        |
| 4.4.2    | Nombre des clusters . . . . .                              | 43        |
| 4.4.3    | Formation des clusters . . . . .                           | 44        |
| 4.4.4    | Phase stationnaire . . . . .                               | 46        |
| 4.5      | Durée de vie du réseau . . . . .                           | 47        |
| 4.6      | Comparaison des résultats . . . . .                        | 48        |
| 4.6.1    | Consommation d'énergie . . . . .                           | 48        |
| 4.6.2    | Comparaison en termes de la durée de vie . . . . .         | 48        |
| 4.7      | Conclusion . . . . .                                       | 50        |
|          | <b>Conclusion Générale</b>                                 | <b>51</b> |
|          | <b>Bibliographies</b>                                      | <b>52</b> |

# Table des figures

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.1 | Exemples des nœuds capteurs [1]                                  | 2  |
| 1.2 | Architecture d'un nœud capteur [18]                              | 2  |
| 1.3 | Architecture de réseau capteur sans fil [6]                      | 4  |
| 1.4 | Topologie plate  | 6  |
| 1.5 | Topologie base sur la localisation                               | 7  |
| 1.6 | Topologie hiérarchique   | 8  |
| 1.7 | Pile protocolaire d'une architecture de réseau de capteurs [1]   | 8  |
| 1.8 | Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil [6]     | 10 |
| 2.1 | Fonctionnement de l'agrégation des données dans RCSF [17]        | 14 |
| 2.2 | Classification des protocoles de routage pour RCSF               | 15 |
| 2.3 | Les approches dans le protocole de routage hiérarchique          | 16 |
| 2.4 | Description les deux phases de protocole LEACH                   | 17 |
| 2.5 | Protocole de routage LEACH [22]                                  | 18 |
| 2.6 | Protocole de Routage PSO-HC [32]                                 | 23 |
| 2.7 | Protocole de Routage PEGASIS                                     | 24 |
| 3.1 | Étapes de l'algorithme de k-means [41]                           | 30 |
| 3.2 | Les étapes de déroulement le protocole                           | 37 |
| 3.3 | Le modèle de dissipation de l'énergie [21]                       | 37 |
| 4.1 | Les phases de formation les clusters                             | 40 |
| 4.2 | Processus d'élection de chef de cluster                          | 40 |
| 4.3 | Organigramme de communication entre CH et les nœuds membres [21] | 41 |
| 4.4 | Schéma de transmission des données                               | 41 |
| 4.5 | Déploiement des nœuds capteurs                                   | 43 |
| 4.6 | Nombre optimal des clusters                                      | 44 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.7  | 1 <sup>er</sup> étape de Formation des clusters . . . . .  | 44 |
| 4.8  | 2 <sup>eme</sup> étape de Formation des clusters . . . . . | 45 |
| 4.9  | 3 <sup>eme</sup> étape de Formation des clusters . . . . . | 45 |
| 4.10 | Étape final de Formation des clusters . . . . .            | 46 |
| 4.11 | les paquets des données transmises . . . . .               | 47 |
| 4.12 | Nombre de nœuds morts vs nombre des rounds . . . . .       | 47 |
| 4.13 | Consommation d'énergie . . . . .                           | 48 |
| 4.14 | Résultats des simulations . . . . .                        | 49 |
| 4.15 | Comparaison en termes de la durée de vie . . . . .         | 49 |

# Liste des tableaux

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Avantages et inconvénients des protocoles dérivés de protocole LEACH . . . . . | 21 |
| 2.2 | Comparaison de différents protocoles de routage [24, 36] . . . . .             | 26 |
| 4.1 | Paramètres de simulation . . . . .   | 42 |

# Liste des abréviations

|                   |  |
|-------------------|--|
| <b>ADC</b>        | Analogique a Digital Convertir                                   |
| <b>CDMA</b>       | Code Division Multiple Access                                    |
| <b>CH</b>         | Chef de cluster  |
| <b>CHs</b>        | Chefs des clusters   |
| <b>CM</b>         | Membre du Cluster  |
| <b>Fire-LEACH</b> | Firefly-Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy                 |
| <b>GPS</b>        | Global Positioning System  |
| <b>HEED</b>       | Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering                   |
| <b>H-PEGASIS</b>  | Hierarchical PEGASIS   |
| <b>ID</b>         | Identifier   |
| <b>LEACH</b>      | Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy                         |
| <b>LEACH-C</b>    | Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Centralized             |
| <b>LEACH-V</b>    | Vice-Cluster Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy            |
| <b>NN-LEACH</b>   | Neural Networks-leach  |
| <b>OSI</b>        | Open Systems Interconnection                                     |
| <b>PCH</b>        | CH Primaire  |
| <b>PEGASIS</b>    | Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems          |
| <b>PSO</b>        | Optimisation de l'essaim (Swarm) de Particules                   |
| <b>PSO-HC</b>     | Particle Swarm Optimization protocol for Hierarchical Clustering |
| <b>RCSF</b>       | Réseaux de Capteurs Sans Fil                                     |
| <b>RSSI</b>       | Received Signal Strength Indicator                               |
| <b>SB</b>         | Station de Base  |
| <b>SCH</b>        | CH Secondaire  |
| <b>TDMA</b>       | Time Division Multiple Access                                    |
| <b>TinyOS</b>     | Tiny Operating System  |

# Introduction Générale

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) se composent d'un nombre illimité des nœuds de capteurs de petite taille, sont déployés dans des zones de surveillance. Son rôles principal est de détecter les phénomènes souhaités dans une région d'intérêt particulier et envoie les données à une station de base. Les RCSFs peuvent être utilisés dans divers domaines : santé, militaire, la gestion des catastrophes ... etc.

Au cours de la collecte des données, l'énergie des nœuds diminue et la durée de vie du réseau diminue car ces nœuds ont une batterie limitée (ressources énergétiques limitées), le problème de consommation d'énergie représente une obstruction pour le réseau car c'est difficile de conserver l'énergie ou le remplacement des batteries pour les milliers de nœuds quand ils sont déployés dans des environnements inaccessibles aux utilisateurs après leur déploiement, pour augmenter la durée de vie du réseau de manière appropriée, de nombreux protocoles de routage sont utilisés pour répondre aux exigences des RCSFs. À partir des méthodes de recherche existantes, nous intéressons aux protocoles de routage à base de clustering.

L'objectif principal de notre travail est d'améliorer les performances des RCSFs à l'aide de protocole de routage basé sur le clustering utilisé l'algorithme K-means, ce protocole découpé le réseau en sous-réseaux appelés les clusters, pour chaque cluster le nœud qui a l'énergie maximale et la meilleure position dans le cluster est élu comme chef de cluster, ce CH est chargé de collecter les données détectées par ses membres et de les envoyer à la station de base, ceci est dans le but de minimiser la consommation d'énergie et par conséquent augmente la durée de vie du réseau.

Ce mémoire est organisé de la façon suivante :

**Chapitre 1** « *Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil* » : nous présentons quelques généralités sur les réseaux de capteurs sans fil pour faire un aperçu sur leurs caractéristiques, son architecture et leurs domaines d'application.

**Chapitre 2** « *État de l'art sur les protocoles de routage à base de clustering* » : présente l'état de l'art sur les protocoles de routage à base de clustering dans RCSF, puis nous présentons les avantages et les inconvénients pour chaque protocole, après le chapitre s'achève par une comparaison entre les protocoles de routage.

**Chapitre 3** « *Protocole de routage basé sur le clustering utilise l'algorithme k-means* » : nous présentons les méthodes de clustering, nous avons détaillé la méthode k-means, nous avons expliqué le protocole de routage à base de clustering utilise l'algorithme k-means et le modèle énergétique utilisé.

**Chapitre 4** « *Simulation et analyse des résultats* » : nous avons réalisé le protocole de routage, nous avons terminé ce chapitre par une analyse des résultats de simulation et nous avons comparé les résultats de la simulation avec le protocole LEACH. Enfin, on terminera avec une conclusion générale.

# Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

## 1.1 Introduction

La convergence de la micro-électronique et des technologies de communication sans-fil a permis la création d'une combinaison entre les systèmes embarqués et les systèmes distribués ayant engendré les Réseaux de Capteurs Sans Fil ou RCSFs.

Les réseaux de capteurs sans fil sont de plus utilisés dans les applications de surveillance dans plusieurs domaines : le militaire, l'environnement, la santé ...etc. Leur essor remarquable est dû à leur taille plus réduit, leur prix plus faible ainsi que leur support de communication sans-fil.

Dans ce chapitre nous présentons les réseaux de capteurs sans fil, leur architecture et leurs caractéristiques, la pile protocolaire, nous citons par la suite la consommation d'énergie et nous discuterons également sur les domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil.

## 1.2 Nœud capteur

### 1.2.1 Définition d'un nœud capteur

Un capteur est un petit appareil, pour mesurer des grandeurs physiques (valeur physique environnementale) telle que la température, la pression, le rayonnement... etc, comme montre la Figure 1.1.

L'information captée par un capteur sera transmise vers la station de base, laquelle l'achemine à l'utilisateur final via un autre réseau de communication[4].

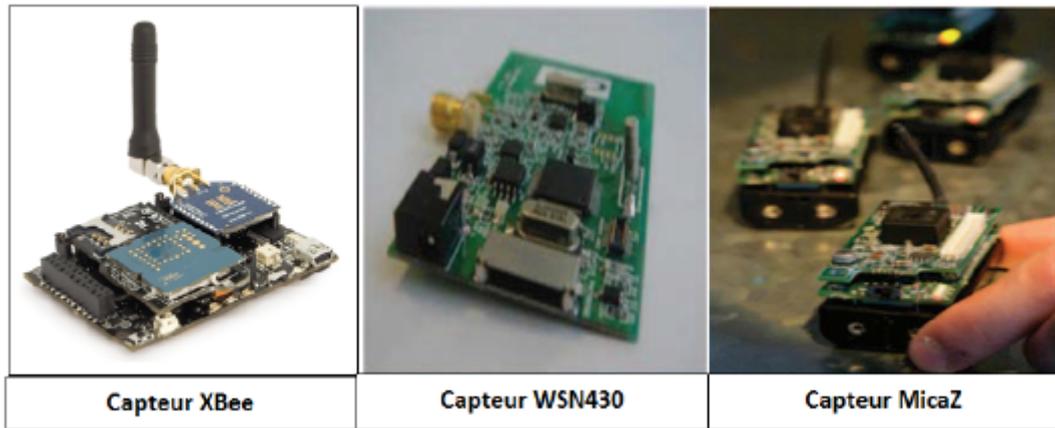


FIGURE 1.1: Exemples des nœuds capteurs [1]

### 1.2.2 Architecture d'un nœud capteur

L'architecture d'un capteur comprend deux parties : matériel et système d'exploitation.

1. **Architecture matérielle** : Comme montre la Figure 1.2 un capteur se compose de quatre unités de base : l'unité de perception (captage), de traitement, de communication et unité de contrôle d'énergie, ou il peut aussi contenir des modèles supplémentaires comme système de localisation GPS.

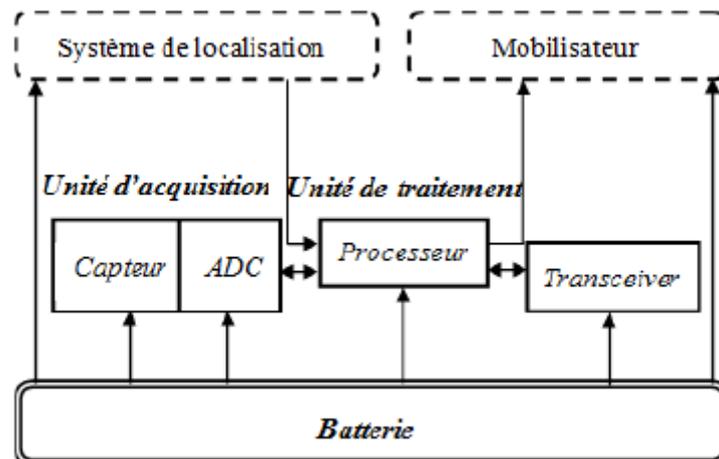


FIGURE 1.2: Architecture d'un nœud capteur [18]

- (1) **Unité de perception** : Est composée de deux sous-unités : un capteur et un convertisseur Analogique/Numérique (ADC pour Analogique a Digital Convertir).

Le capteur permet de relier le nœud avec son environnement extérieur, il est responsable de fournir des signaux analogiques, basé sur les phénomènes observés à l'ADC. Ce dernier transforme ces signaux en un signal numérique compréhensible par l'unité de

traitement pour pouvoir l'analyser [1].

- (2) **Unité de traitement** : Est à la charge du contrôle de capteurs, la gestion des procédures et protocoles de communication de plus le micro-contrôleur ou le microprocesseur embarqué est associé généralement à une unité de stockage, nécessaire à l'implantation et à l'exécution d'un programme qui peut être un système d'exploitation spécialement conçu pour les micro-capteurs [5, 6].
- (3) **Unité de communication** : Responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions de données sur un médium sans fil, afin de permettre l'échange d'informations entre le nœud capteur et son environnement extérieur. En fonction du domaine d'application, trois modes de communication sans fil peuvent être utilisés : optique (laser), infrarouge, radio fréquence [1, 5].
- (4) **Unité de contrôle d'énergie** : C'est la batterie qui est généralement ni rechargeable ni remplaçable, cette capacité d'énergie limitée au niveau de capteurs, représente une contrainte cruciale lors de la conception des protocoles pour les réseaux de capteurs [7].

2. **Système d'exploitation** : Un système d'exploitation n'est qu'un ensemble de programmes responsables d'assurer l'exploitation des ressources matérielles d'un dispositif par les applications utilisatrices. Le système d'exploitation destiné aux réseaux de capteurs du petite taille, mais il doit présenter plus de performance en termes de temps d'exécution, d'occupation mémoire et de gestion d'énergie. Il existe plusieurs systèmes d'exploitation pour les RCSFs comme :TinyOS (Tiny Operating System), Contiki, MANTIS OS (Multimodal NeTworks of In-situ micro Sensor), LiteOS, RETOS, Nano-RK Le système d'exploitation le plus répandu pour les réseaux de capteurs est : TinyOS.

TinyOS est un système d'exploitation open-source conçu pour les RCSF, Les applications pour TinyOS sont écrites en langage de programmation NesC (Network Embedded System C), une extension du langage programmation C. Il a été développé à l'université de Berkely. Actuellement, il est utilisé par plus de 500 universités dans le monde.

Un programme sous TinyOS ne doit comporter que les composants nécessaires à son exécution, ce qui réduit la taille du programme à insérer dans l'unité de traitement du capteur [2, 6].

## 1.3 Réseaux de capteurs sans fil

### 1.3.1 Définition d'un réseau de capteurs sans fil

Un RCSF est un type spécial de réseau ad-hoc défini par un ensemble coopérant de capteurs déployés dans une zone géographique appelée zone de captage ou zone d'intérêt, afin de surveiller un phénomène quelconque et de récolter des données d'une manière autonome. Les capteurs utilisent une communication sans fil pour acheminer les données captées vers un nœud considéré comme (point de collecte), appelé station de base ou nœud puits. Cette dernière peut être connectée à une machine puissante via internet, ou par satellite [11, 14].

### 1.3.2 Architecture d'un réseau de capteur sans fil

Un RCSF est composé d'un ensemble des nœuds capteurs. Ces ensembles de capteurs sont organisés en champs (Zone de captage), comme illustrés sur la Figure 1.3.

Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter des données et de les transférer à une station de base passerelle puits (dit "*sink*" en anglais).

La station de base transmet ensuite ces données par Internet ou par Satellite à l'ordinateur central (Utilisateur final) pour analyser ces données et prendre des décisions [12].

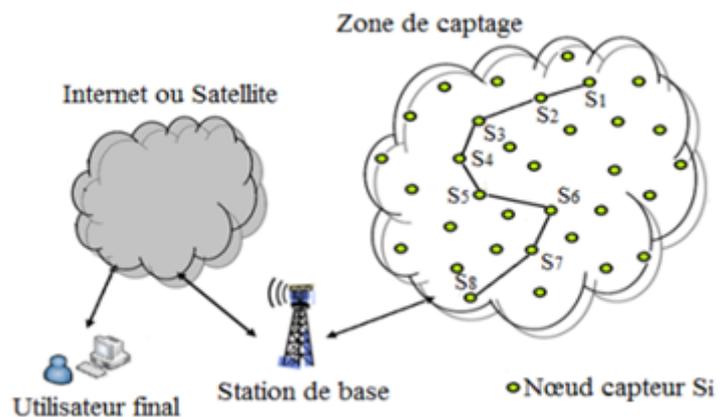


FIGURE 1.3: Architecture de réseau capteur sans fil [6]

## 1.4 Caractéristiques de réseau de capteurs sans fil

Parmi les caractéristiques les plus importantes d'un réseau de capteurs sans fil, nous citons :

### 1.4.1 Forte densité des nœuds

Les RCSFs peuvent contenir des centaines ou des milliers de nœuds capteurs. La densité de nœud peut être aussi haute que 20 nœuds/ $m^3$  [11].

### 1.4.2 Ressources limitées

Les capteurs sont des objets limités en termes de : capacité de mémoire, puissance de traitement, et d'énergie [19].

### 1.4.3 Contrainte d'énergie

Dans plusieurs applications, les nœuds capteurs sont déployés dans des environnements inaccessibles. Dans ce cas, la durée de vie du capteur dépend de la vie de sa batterie, ce qui exige la minimisation des dépenses énergétiques. De ce fait, l'énergie est une contrainte clé dans les réseaux de capteurs [12].

### 1.4.4 Déploiement des nœuds

Il existe, plusieurs méthodes pour déployer un réseau de capteurs dans la zone à surveiller. Le choix d'une méthode dépend de l'objectif du réseau. Le déploiement peut être déterministe ou aléatoire. Dans le déploiement déterministe les capteurs sont placés manuellement et les données sont conduites via des chemins prédéterminés, mais cette solution devient impossible dès qu'on considère un très grand nombre de capteurs. En revanche, avec une approche aléatoire, les capteurs sont dispersés [11, 12].

### 1.4.5 Connectivité

La densité élevée des nœuds dans les réseaux de capteurs exclut complètement leur isolement. Quoique, la connexion n'est pas toujours assurée à cause de la mobilité et le déploiement des nœuds et les défaillances qui font varier la topologie du réseau.

### 1.4.6 La scalabilité

Les réseaux de capteurs a un très grand nombre de capteurs, ils peuvent atteindre des milliers voire des millions de capteurs. Le défi à relever par les RCSFs est d'être capable de maintenir leurs performances avec ce grand nombre de capteurs [12].

### 1.4.7 Auto organisation du réseau et la topologie dynamique

Les nœuds peuvent échouer (par manque d'énergie ou destruction physique), comme de nouveaux nœuds peuvent rejoindre le réseau. Par conséquent, le réseau doit être capable de s'auto-organiser et de se modifier périodiquement de sorte qu'il puisse continuer à fonctionner.

### 1.4.8 Sécurité physique limitée

A l'instar des réseaux adhoc, les RCSFs sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux filaires classiques [14].

## 1.5 Topologies des RCSFs

La topologie détermine l'organisation des nœuds capteurs dans le réseau. Il existe en général trois types de topologies : la topologie plate, la topologie base sur la localisation et la topologie hiérarchique.

### 1.5.1 Topologie plate (en étoile)

Comme montre la Figure 1.4, la topologie en étoile est composée d'un nœud central appelé une station de base, les nœuds capteurs transmettent leurs données directement vers la station de base. Ainsi, l'architecture d'une telle topologie est caractérisée par une transmission à un saut. Dans cette topologie, le nœud central a la responsabilité de contrôler et de coordonner les nœuds capteurs qui communiquent exclusivement avec lui. L'intérêt de cette architecture est de limiter au maximum le transport des données est donc très performant, en plus d'être relativement simple [9].

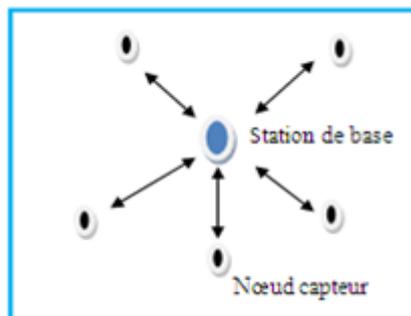


FIGURE 1.4: Topologie plate

### 1.5.2 Topologie base sur la localisation (maillée)

La topologie maillée est constituée d'un ensemble des nœuds reliés les uns aux autres. Chacun des nœuds transmet ses données à son voisin après avoir établi le meilleur chemin pour véhiculer les données à travers le réseau jusqu'à la station de base. Un nœud voulant transmettre un message à un autre nœud hors de sa portée de transmission, peut utiliser un nœud intermédiaire pour envoyer son message au nœud destinataire, cette caractéristique permet de maintenir le fonctionnement du réseau en cas de panne d'un nœud, comme illustre la Figure 1.5.

Cette topologie est alors plus robuste et flexible par rapport à la variation du nombre des nœuds. Quand il n'y a pas de transfert des données, les nœuds se mettent en mode veille pour économiser de l'énergie mais les inconvénients de cette topologie est la communication multi-sauts qui l'importante consommation d'énergie induite [18].

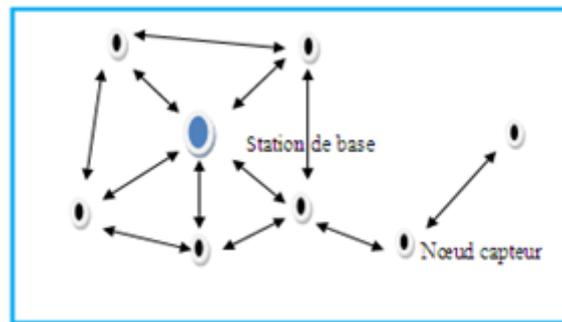


FIGURE 1.5: Topologie base sur la localisation

### 1.5.3 Topologie hiérarchique

La topologie hiérarchique est partitionnée en groupes appelés (clusters). Un cluster est constitué d'un nœud particulier appelé (chef de cluster) et d'autres nœuds qui communiquent qu'avec leur chef de cluster, ensuite ce dernier est chargé de faire suivre les messages reçus vers la station de base du réseau, comme illustre la figure 1.6.

Cette topologie est alors hiérarchisée selon le rôle des éléments du réseau (la station de base, chef de cluster, nœuds). Il peut y avoir un changement de hiérarchie entre les nœuds et les chefs des clusters en fonction de l'énergie disponible ou la position géographique de chaque nœud [18].

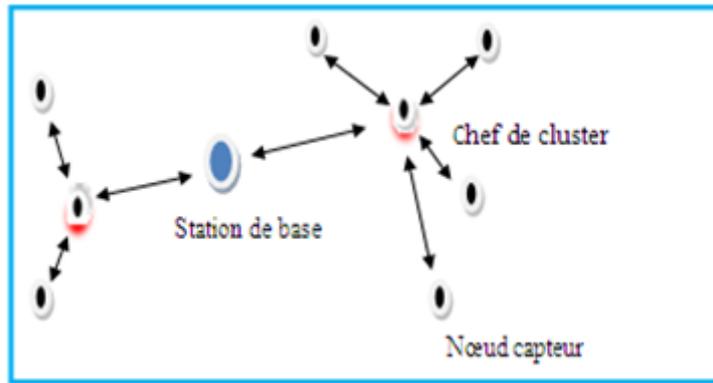


FIGURE 1.6: Topologie hiérarchique

## 1.6 La pile protocolaire dans un RCSF

Le rôle de cette pile consiste à standardiser la communication entre les participants afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles. Comme montre la Figure 1.7, ce modèle comprend 5 couches : physique, liaison, réseau, transport et application, ainsi que 3 plans : plan de gestion d'énergie, plan de gestion de mobilité et plan de gestion des tâches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI.

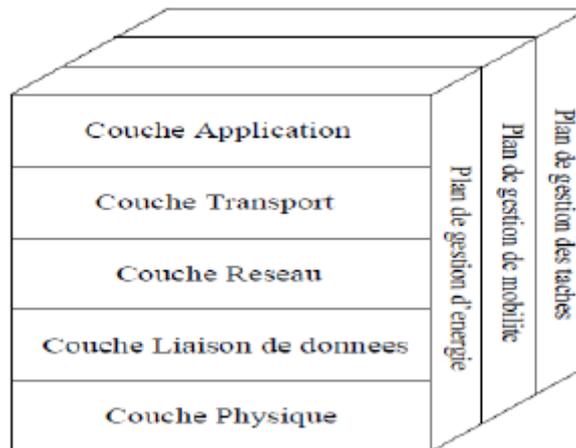


FIGURE 1.7: Pile protocolaire d'une architecture de réseau de capteurs [1]

### 1.6.1 Rôle des couches

1. **Couche physique** : S'occupe de la spécification du câblage, des fréquences porteuses,... etc. Cette couche doit assurer des techniques d'émission, de réception et de modulation de données d'une manière robuste.
2. **Couche liaison** : Elle spécifie comment les données sont expédiées entre deux nœuds/

routeurs dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès sur le médias, elle assure la liaison point à point et point à multipoint dans un réseau de communication [13].

3. **Couche réseau** : Cette couche permet de gérer l'adressage et le routage des données, c'est-à-dire leur acheminement via le réseau.
4. **Couche transport** : Cette couche est chargée du transport des données, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.
5. **Couche application** : Cette couche assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, gérés directement par les logiciels.

### 1.6.2 Plans de gestion

1. **Plan de gestion d'énergie** : Contrôle l'utilisation de la batterie. Par exemple, après la réception d'un message, le capteur éteint son récepteur afin d'éviter la duplication des messages déjà reçus. En outre, si le niveau d'énergie devient bas, le nœud diffusé à ses voisins une alerte les informant qu'il ne peut pas participer au routage. L'énergie restante est réservée au captage [13].
2. **Plan de gestion de mobilité** : Ce niveau détecte et enregistre tous les mouvements des nœuds capteurs, un retour arrière vers l'utilisateur est toujours maintenu et le nœud peut garder trace de ses nœuds voisins. En déterminant leurs voisins, les nœuds capteur peuvent balancer l'utilisation de leur énergie et la réalisation de tâche [1, 13].
3. **Plan de gestion des tâches** : Balance et ordonnance les différentes tâches de captage de données dans une région spécifique. Il n'est pas nécessaire que tous les nœuds de cette région effectuent la tâche de captage au même temps ; certains nœuds exécutent cette tâche plus que d'autres selon leur niveau de batterie [1, 13].

## 1.7 Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil

Les domaines d'application du RCSF peuvent être essentiellement classés en deux catégories : surveillance et suivi, les applications de surveillance comprennent la surveillance intérieure/extérieure telle que la santé humaine, les applications de suivi comprennent l'une des applications les plus importantes dans le domaine de la géologie est la prévision des catastrophes, par exemple les tremblements de terre, les tsunamis...etc, les RCSF peuvent être utilisés dans plusieurs applications comme montre la Figure 1.8 :



FIGURE 1.8: Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil [6]

### 1.7.1 Domaine militaire

Le domaine militaire a été un moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, l'auto-organisation parmi les caractéristiques qui font de ce type des réseaux un outil appréciable dans un tel domaine.

Le réseau de capteurs déployé sur un secteur stratégique ou difficile d'accès, permet par exemple d'y surveiller tous les mouvements (amis ou ennemis), ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes, détection et reconnaissance des attaques nucléaires, biologiques et chimiques [6, 8].

### 1.7.2 Domaine médicale

Les réseaux de capteurs sont aussi largement utilisés dans le secteur des soins de santé. Les services fournis rendent les choses plus faciles pour l'équipe médicale et améliorent la qualité de vie des patients grâce aux réseaux de capteurs portés.

Dans le domaine médical, les RCSF peuvent assurer la surveillance médicale en implantant sur la peau de mini capteurs vidéo, on peut recevoir des images en temps réel d'une partie du corps sans aucune chirurgie pendant environ 24 H. On peut ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle [9].

### 1.7.3 Domaine environnemental

Le contrôle des paramètres environnementaux par les réseaux de capteurs peut donner naissance à plusieurs applications. Par exemple, le déploiement des thermo-capteurs dans une forêt peut aider à détecter un éventuel début de feu et par suite faciliter la lutte contre les feux de forêt avant leur propagation.

Le déploiement des capteurs dans les sites industriels empêche les risques industriels tels que la fuite de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs, pétrole,...etc) [4].

Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés pour réagir convenablement aux changements climatiques par exemple le processus d'irrigation lors de la détection des zones sèches dans un champ agricole [8].

### 1.7.4 Domaine commerciale

Des nœuds capteurs pourraient améliorer le processus de stockage et de livraison, Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. Un client attendant un paquet peut alors avoir un avis de livraison en temps réel et connaître la position du paquet.

Des entreprises manufacturières, via des réseaux de capteurs pourraient suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré. Grâce aux réseaux de capteurs, les entreprises pourraient offrir une meilleure qualité de service tout en réduisant leurs coûts.

Dans les immeubles, le système domotique de chauffage et climatisation, d'éclairage ou de distribution d'eau pourrait optimiser son efficacité grâce à des micro-capteurs présents dans des tuiles aux planchers en passant par les murs, huisseries et meubles. Les systèmes ne fonctionneraient que là où il faut, quand il faut et à la juste mesure [6, 8].

## 1.8 Consommation d'énergie dans les RCSF

Les réseaux de capteurs sans fil, sont destinés à relever des informations dans des environnements hostiles auxquels l'homme n'a pas toujours accès. C'est pourquoi on considère qu'une fois qu'ils sont déployés, les capteurs sont autonomes. Leur durée de vie est donc la durée de vie de leur batterie. Le facteur énergie est donc au centre de toutes les préoccupations sur les capteurs. L'énergie consommée par un nœud capteur est due essentiellement aux opérations suivantes : la capture, le traitement et la communication de données.

### 1.8.1 Énergie de capture

L'énergie de capture est dissipée pour accomplir les tâches suivantes : échantillonnage, traitement de signal, conversion analogique/numérique et activation de la sonde de capture. En général, l'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommée par un nœud [7].

### 1.8.2 Énergie de traitement

L'énergie de traitement se divise en deux parties : l'énergie de commutation et l'énergie de fuite.

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

### 1.8.3 Énergie de communication

L'énergie de communication se décline en deux parties : 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, ainsi que par les propriétés physiques du module radio. L'émission d'un signal est caractérisée par sa puissance.

Quand la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée. Notons que l'énergie de communication représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un nœud capteur [7].

## 1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts généraux liés aux réseaux de capteurs sans fil, son architecture, ses domaines d'application. Nous avons cité ses principales caractéristiques, et la consommation d'énergie dans les RCSF.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter l'état de l'art en nous intéressant plus particulièrement sur les protocoles de routage basés sur le clustering.

# État de l'art sur les protocoles de routage à base de clustering

## 2.1 Introduction

L'objectif principal d'un protocole de routage pour un réseau de capteurs sans fil est l'établissement correcte et efficace d'itinéraires entre les nœuds afin que des messages puissent être acheminés.

En raison de la réduction de la consommation d'énergie et à la prolongation de la durée de vie du réseau on s'intéressera spécialement aux protocoles de routage hiérarchique qui se basent sur le clustering.

Dans ce chapitre, nous présentons une aperçue globale sur la classification des protocoles de routage dans les RCSFs, nous commençons par des définitions, puis nous intéressons aux différentes approches proposées pour le routage hiérarchique, en suit nous présentons les protocoles de routage basés sur le clustering utilisés dans les réseaux de capteurs sans fil, après le chapitre s'achève par une conclusion.

## 2.2 Définitions

### 2.2.1 Définition de routage

Le routage consisté a trouvé un chemin pour envoyer des données de la source à la destination. L'objectif principal d'un protocole de routage pour un réseau de capteurs sans fil est l'établissement correct et efficace d'itinéraires entre les nœuds afin que des messages puissent être acheminés.

Le protocole de routage permet aux nœuds de se connecter directement les uns aux autres pour relayer les messages par un saut ou des sauts multiples et de transmettre les données vers une station de base [6].

### 2.2.2 Le clustering

Le clustering est une technique pour partitionner le réseau en groupes (clusters), et dans chaque groupe a désigné un de ces nœuds comme chef appelé chef de cluster, ce dernier communique avec les autres nœuds de son groupe et les chefs des clusters des autres groupes [46].

Le clustering présente de nombreux avantages tels que le regroupement de capteurs et la réduction des pertes d'énergie. Ces avantages peuvent être résumés comme suit :

- Augmentez les économies d'énergie par réduisez le nombre de nœuds responsables de l'envoi des données.
- Réduisez les frais de communication.
- Fournir une meilleure utilisation des ressources du réseau.

### 2.2.3 Agrégation des données

L'agrégation de données est la combinaison des données de différentes sources selon une certaine fonction d'agrégation : suppression, minimum, maximum et moyenne, etc. L'agrégation de données peut se faire au niveau de chaque nœud du réseau ou bien uniquement au niveau de chef de cluster selon le type d'application.

Cette technique a été employée pour réduire la taille des données échangées entre les nœuds, c'est une procédé fondamental permettant de résoudre le problème de redondance de données à transmettre comme montre sur la Figure 2.1 et par conséquence permet d'optimiser la consommation d'énergie lors de la transmission des données [03].



FIGURE 2.1: Fonctionnement de l'agrégation des données dans RCSF [17]

## 2.3 Classification des protocoles de routage

Les méthodes employées peuvent être classifiées les protocoles de routage suivant la topologie de réseau.

La topologie détermine l'organisation des capteurs dans le réseau. Il existe trois principales topologies dans les protocoles de routage pour les RCSFs comme illustré sur la Figure 2.2.

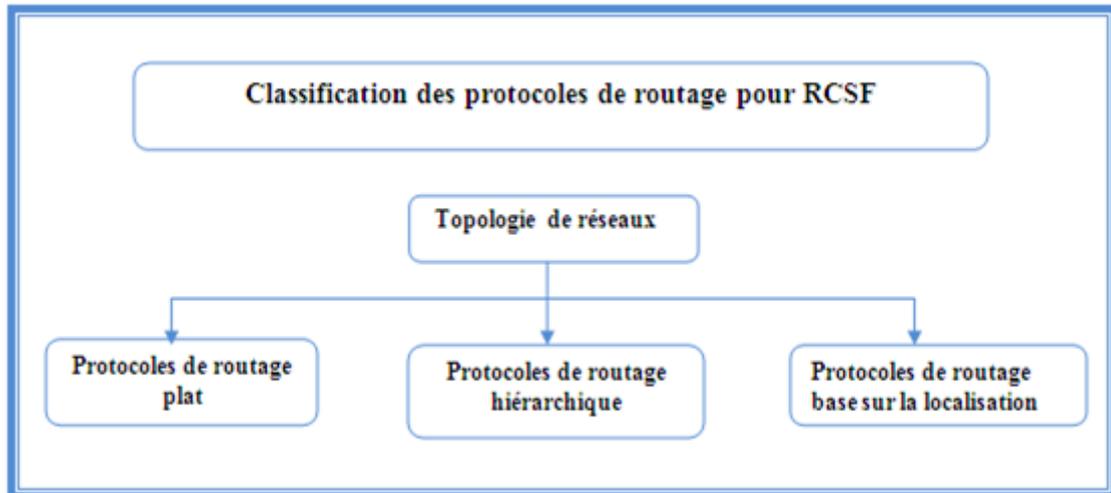


FIGURE 2.2: Classification des protocoles de routage pour RCSF

### 2.3.1 Les protocoles de routage plat

Dans une topologie plate, tous les nœuds possèdent le même rôle. Sauf les nœuds de contrôle station de base qui est chargé de collecter toutes les informations issues des différents nœuds capteurs pour les transmettre vers l'utilisateur final, la décision d'un nœud de router des paquets vers un autre dépendra de sa position [8, 15].

### 2.3.2 Les protocoles de routage hiérarchique

Les protocoles de routage hiérarchiques ont été introduites en divisant les nœuds en plusieurs niveaux de responsabilité. L'une des méthodes les plus employées est le clustering, où le réseau est partitionné en groupes. Un groupe est constitué d'un chef de groupe et des ses membres [15, 16].

### 2.3.3 Les protocoles de routage basé sur la localisation

Le protocole de routage basé sur la localisation utilise des informations de localisation des nœuds pour guider la découverte du routage, pour la maintenance ainsi que pour le transfert de données. Il permet en outre la transmission directionnelle de l'information et évite l'inondation

tout le réseau en général les informations de localisation sont nécessaires pour calculer la distance entre deux nœuds particuliers, de sorte que la consommation d'énergie peut être estimée et réduite [16].

## 2.4 Les approches de routage hiérarchique

Les protocoles de routage hiérarchique est considéré comme étant l'approche la plus favorable en termes d'efficacité énergétique et d'auto-organisation. Il se base sur le concept (nœud standard – nœud maître «chef de cluster »), où les données de tous les nœuds standard sont envoyées à leur chef de cluster, qui les achemine vers la SB via d'autres nœuds maitres après l'application de technique de l'agrégation, afin de diminuer le nombre de messages transmis au SB, ce qui implique une meilleure économie d'énergie. Comme illustré sur la Figure 2.3 deux grandes approches sont dérivées de protocole de routage hiérarchique : une approche basée sur le cluster et une approche basée sur la chaine [20].

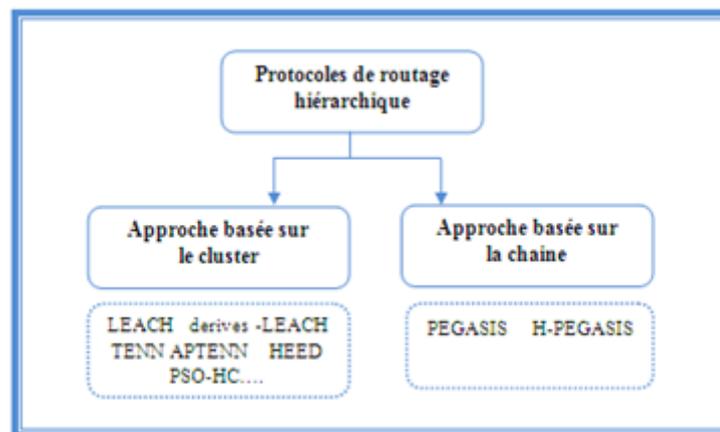


FIGURE 2.3: Les approches dans le protocole de routage hiérarchique

1. **Approche basée sur le cluster** : Dans cette approche le réseau est partitionné en clusters, ou dans chacun d'entre eux choisir un seul capteur comme chef de cluster.

La formation des clusters et la sélection de chef de cluster, sont les deux préoccupations importantes des protocoles de routage hiérarchiques. D'ailleurs, chaque chef de cluster crée un plan de transmission pour les capteurs dans son cluster, parmi les protocoles de routage basé sur le cluster le protocole LEACH, LEACH-C, Fire-LEACH, V-LEACH, NN-LEACH, HEED, PSO-HC ... etc.

2. **Approche basée sur la chaîne** : Dans cette approche, les nœuds vont être organisés de sorte qu'ils forment une chaîne de proches voisins connectant tous les nœuds et ensuite choisit une tête (Leader de la chaîne) qui communique directement avec la SB, parmi les protocoles de routage PEGASIS, H-PEGASIS...etc.

## 2.5 les protocoles de routage à base de clustering

### 2.5.1 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

LEACH est considéré comme étant le premier protocole de routage hiérarchique qui était proposé par Heinzelman et al [21], comme étant l'un des algorithmes de routage hiérarchique le plus populaire pour les réseaux de capteurs sans fil.

LEACH se déroule en rounds, chacun d'eux se compose de deux phases principales, la phase initialisation et la phase transmission comme illustré sur la Figure 2.4.



FIGURE 2.4: Description les deux phases de protocole LEACH

Lors de la phase de l'initialisation les nœuds chefs des clusters sont élus et les clusters sont formés et organisés, l'élection des chefs des clusters se déroule comme suit : chaque nœud choisit un nombre de manière aléatoire entre 0 et 1. Si cette valeur est inférieure à un seuil  $T(n)$  défini par l'équation (2.1) le nœud devient chef de cluster. Le seuil est défini comme suit :

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{(1 - p * (r \bmod (1/p)))} & \text{Si } n \in G \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (2.1)$$

Où

$p$  = Pourcentage de clusters souhaité.

$r$  = Est le round courant.

$G$  = Représente est l'ensemble des nœuds qui n'ont pas été chefs de cluster dans le dernier  $(1/p)$  tours.

Dans la deuxième phase de transmission les nœuds envoient leurs données au CH le cluster auquel ils appartiennent, ensuite le chef de cluster agrège toutes les données et envoie le paquet des données à la station de base.

A la fin de la phase initialisation un ordonnancement TDMA (*Time Division Multiple Access*) permet d'assigner à chaque nœud un slot de temps pour la transmission de ses données. Dans le souci d'économiser l'énergie, les autres nœuds qui ne sont pas chef de cluster sont actifs uniquement durant leur temps de transmission, le reste du temps ils mettent leur radio en veille.

Le chef de cluster par contre est tout le temps actif pour recevoir les données des autres membres du cluster. A la fin du round (tour), on démarre un autre round avec une nouvelle phase initialisation. Les nœuds qui étaient chefs de cluster durant le round précédent ne peuvent pas être réélus de nouveau [21, 22]. Comme montre sur la Figure 2.5 le schéma de protocole de routage LEACH.

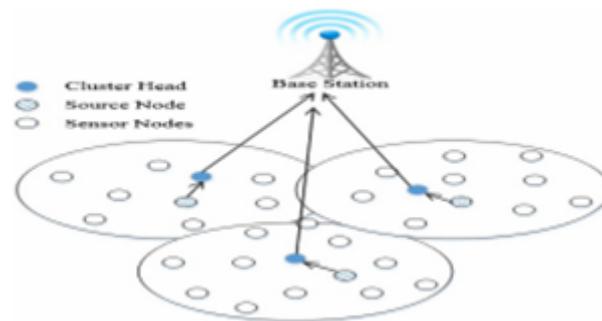


FIGURE 2.5: Protocole de routage LEACH [22]

## 2.5.2 Avantages et inconvénients de LEACH

### 1. Avantages de protocole LEACH :

- La charge d'énergie est répartie sur l'ensemble des nœuds.
- L'agrégation des données permet de réduire le taux de communications avec la SB, l'agrégation des données en tête de cluster.
- L'auto-organisation des clusters est possible.

## 2. Inconvénients de protocole LEACH :

- Les nœuds les plus éloignés de chef de cluster meurent rapidement par rapport à ceux qui sont proches de chef de cluster.
- La rotation du rôle du CH génère une surconsommation d'énergie.
- Clusters singletons : composés d'un seul nœud qui est le chef de cluster ce qui peut épuiser rapidement la batterie.
- La sécurisation : le protocole LEACH n'est pas sécurisé. Aucun mécanisme de sécurité n'est intégré dans ce protocole.
- 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.

### 2.5.3 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Centralized (LEACH-C)

Plusieurs dérivations de protocole LEACH ont été proposées notamment LEACH-C. LEACH-C est une variante de LEACH proposé par Heinzelman et al [43], a été conçue pour répondre au problème de sélection aléatoire du CH dans LEACH. Cette variante utilise une architecture centralisée pour choisir les CHs, lors de la phase d'installation de LEACH-C, les nœuds informent la SB par l'envoi d'informations sur leur position par GPS et leur niveau d'énergie, elle désigne les chefs de cluster en se basent sur la moyenne des niveaux d'énergie, les nœuds ayant un niveau d'énergie inférieur à la moyenne ne peuvent pas être des CHs dans l'itération courante. Enfin, la station de base diffuse un message contenant les identificateurs des chefs des clusters, le fonctionnement des autres opérations est similaire à celui de LEACH [24, 30].

### 2.5.4 Neural Networks-leach (NN-LEACH)

Le protocole NN-LEACH est une version dérivée de protocole LEACH, était proposé par F.SANHAI et al [27], Le principe général des réseaux de Neurones (NN) est à l'origine inspiré de certaines fonctions de base des neurones naturels du cerveau, le principal objectif d'algorithme proposé est amélioration du clustering dans le protocole de routage LEACH spécialement pour la phase de sélection du CH. Dans ce protocole basé sur Réseaux de neurones un critère spécifique, comme la sélection de CH dépend de la quantité d'énergie restante (le nœud avec le plus haut niveau d'énergie).

Par exemple le modèle est composé de trois couches, la première couche est la couche d'entrée avec deux nœuds, un pour l'énergie et autres pour le biais. La deuxième couche est la couche cachée avec quatre nœuds et la fonction de transfert utilisée est la fonction sigmoïde. La dernière

couche est la couche de sortie avec un nœud qui peut prendre comme valeur "1" pour le nœud sélectionné comme CH ou "0" [27, 28].

### 2.5.5 Firefly-Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (Fire-LEACH)

Le protocole Fire-LEACH c'est une version modifiée de protocole LEACH, était proposé par E. Sandeep Kumar et S.M. Kusuma [23], comme étant l'un des algorithmes de clustering inspiré du comportement des lucioles en anglais *Firefly*, Le but d'usage cette algorithme est de formée les clusters par trouver la position optimale des CHs en prennent en compte l'énergie résiduelle pour chaque capteur et la distance entre le CH et ses capteurs.

Après la sélectionnée de CH (même phase d'initialisation de Protocol Leach), ce dernier commence à diffuser le paquet d'intérêt. Tous les CH apprennent les nœuds ordinaires et autres CH. Ensuite, ils diffusent le paquet d'annonce en introduisant la valeur d'intensité qu'il a calculée et la distance entre le CH et le nœud, tous les CH stocker le maximum des valeurs d'intensité calculées avec tous les autres nœuds ordinaires. Les noeuds ordinaires comparent maintenant leur intensité avec toutes les autres valeurs d'intensité de CH et attachez à un CH qui a plus de valeur d'intensité que leur Valeurs, en envoyant un paquet de demande de jointure. Ce processus conduit à une formation des clusters [25, 26].

### 2.5.6 Vice-Cluster Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (V-LEACH)

Le protocole V-LEACH c'est une version dérivée de protocole LEACH, était proposé par Muneer Bani Yassein et al [30], le cluster contient CH (responsable uniquement de l'envoi de données est reçue des membres du cluster à BS), Vice-CH (le nœud qui deviendra un CH en cas de CH meurt), le CH mourra plus tôt que l'autre nœuds dans le cluster en raison de son fonctionnement de recevoir, envoyer et entendre. Quand le CH mourir, le cluster deviendra inutile parce que les données rassemblées par des nœuds de cluster n'atteindront jamais la base station.

La tête de Vice Cluster est cette tête alternative qui ne fonctionnera que lorsque le chef de cluster mourra. Le processus de sélection de la tête du groupe de vice sur la base de trois facteurs, à savoir la distance minimale, l'énergie résiduelle maximale et l'énergie moyenne [29].

### 2.5.7 Avantages et inconvénients des protocoles dérivés de protocole LEACH

Dans le tableau ci-dessous 2.1 , les avantages et les inconvénients des protocoles dérivés de protocole LEACH vu précédemment.

| Protocole  | Avantages   | Inconvénients   |
|------------|---|---|
| LEACH-C    | Permet une diminution remarquable de la consommation énergétique  | La version centralisée n'est pas adaptée aux réseaux de grande dimension                                    |
| NN-LEACH   | L'ensemble du réseau de capteurs peut être modélisé dans une perspective NN pour chaque nœud de capteur dans le réseau de capteurs, le NN décide le chef de cluster     | la phase de sélection du CH consomme beaucoup de temps de calcul  |
| Fire-LEACH | L'algorithme Firefly permet de fournir rapidement des solutions qui sont proches de la solution optimale  | L'algorithme Firefly a d'inconvénient tel que se retrouver pris au piège dans plusieurs positions optimales |
| V-LEACH    | les données des nœuds de cluster atteindront toujours le SB ; pas besoin d'élire un nouveau CH à chaque fois que le CH meurt. Cela prolongera la durée de vie du réseau | Frais supplémentaires pour l'élection de vice-CH et la formation des clusters                               |

TABLE 2.1: Avantages et inconvénients des protocoles dérivés de protocole LEACH

### 2.5.8 Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering (HEED)

Était proposé par Younes et Fahmy [31], comme étant l'un des algorithmes de clustering distribué et multi-sauts, HEED sélectionne les chefs des clusters selon un critère hybride regroupant l'énergie restante des nœuds et un second paramètre tel que le degré des nœuds.

Il vise à réaliser une distribution uniforme des chefs des clusters dans le réseau et à générer des clusters équilibrés en taille et puissance énergétique [15].

Un nœud  $n$  est élu comme chef de cluster avec une probabilité  $P_{ch}$  égale à l'équation (2.2) :

$$P_{ch} = \frac{E_n C_{prob}}{E_{Total}} \quad (2.2)$$

Où

$E_n$  : est l'énergie restante du nœud  $n$ .

$E_{Total}$  : est l'énergie globale dans le réseau.

$C_{prob}$  : est le nombre optimal de clusters.

### 2.5.9 Avantages et inconvénients de HEED

#### 1. Avantages de protocole HEED

- Équilibrage de la taille des clusters.
- Prolonge la durée de vie du réseau en distribuant l'énergie des CHs d'une façon uniforme.
- L'utilisation de deux paramètres importants dans le choix des CHs.

#### 2. Inconvénients de protocole HEED

- L'élection périodique des CHs requiert de l'énergie supplémentaire pour la reconstruction des clusters.
- Souffre de surcharge car il a besoin de plusieurs itérations pour former les clusters.

### 2.5.10 Particle Swarm Optimization protocol for Hierarchical Clustering (PSO-HC)

Proposé par R.Elhabyan et M.Yagoub [32], le protocole PSO-HC utilise l'algorithme d'optimisation de l'essaim de particules (PSO) qui est basé sur les comportements sociaux du vol d'oiseaux, L'objectif du protocole est de trouver le nombre optimal de CH pour minimiser la consommation d'énergie.

PSO-HC comporte deux phases par round : la phase de configuration et de stabilisation. Pendant 1er phase, chaque nœud commence par la découverte du voisin où chaque nœud capteur du réseau diffuse un paquet HELLO qui comprend son ID, le nœud met à jour sa table de voisinage avec l'ID et l'énergie résiduelle inclus dans le paquet avec l'indicateur de force du signal (*Received Signal Strength Indicator RSSI*) reçu, les informations collectées sur le réseau transfèrent à la SB, La SB trouve le niveau d'énergie moyen de tous les nœuds et seuls les nœuds avec un niveau d'énergie supérieur à la moyenne sont éligibles pour être un CH. Ensuite, le SB exécute l'algorithme PSO pour trouver les meilleurs nombres CH. Pour la formation du cluster, la SB responsable à

construire le cluster dans le premier niveau de clusters en affectant chaque nœud non CH à un CH en fonction de la valeur RSSI pour le lien entre eux, dans le cas de plusieurs CH, le nœud deviendra membre du CH ayant le RSSI maximum force. Tout CH du premier niveau est appelé CH primaire (PCH) et doit rester actif pendant tout le round. Dans le deuxième niveau La SB attribue chaque nœud non CH du deuxième niveau à un nœud dans le premier niveau en fonction de la valeur RSSI pour le lien entre eux. Un nœud dans le premier niveau qui a des membres de le deuxième niveau est appelé CH secondaire (SCH), le nœud membre appelé un membre du cluster (CM) comme montre sur la Figure 2.6.

Pendant la phase stabilisation, chaque nœud membre utilise son programme d'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) comme sur LEACH pour transmettre ses données au saut suivant. Lorsqu'un nœud simple termine la transmission de données, il entre en état de veille pour économiser son énergie [33].

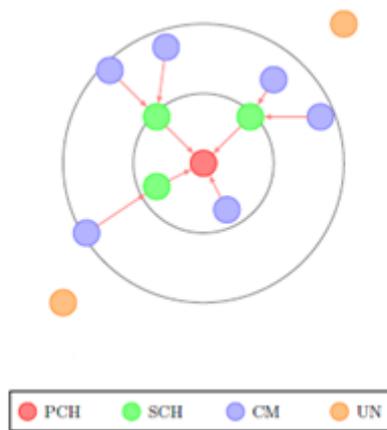


FIGURE 2.6: Protocol de Routage PSO-HC [32]

### 2.5.11 Avantages et inconvénients de de PSO-HC

#### 1. Avantages de protocole de PSO-HC :

- La fonction fitness (utilise dans l'algorithme PSO) tient compte de l'énergie résiduelle des nœuds et de la distance entre les nœuds [34].
- Seuls les capteurs dont le niveau d'énergie est supérieur à la moyenne sont éligibles êtres candidats à CH.
- La prise de décision importante et la plupart des opérations sont effectuées à la SB.

## 2. Inconvénients de protocole de PSO-HC :

- Pour minimiser la consommation énergétique le protocole doit minimiser le nombre de CH (le CH doit être actifs à chaque tour).
- Certains nœuds ne sont pas utilisés dans les clusters.

### 2.5.12 Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS)

Proposé par Lindsey et al [35], PEGASIS est une version améliorée du protocole LEACH. L'idée de base de ce protocole est forme des chaînes, chaque nœud transmette et reçoive uniquement des données d'un voisin et un seul nœud est sélectionné à partir de cette chaîne pour transmettre à la station de base, comme illustré sur la Figure 2.7.

La construction de ces chaînes constitue la première phase du protocole qui se fait en deux étapes :

- Dans la première la SB et les nœuds capteurs sont auto-organisés en utilisant Greedy algorithm (un algorithme permettant de choisir localement la meilleure solution).
- Dans la deuxième la SB diffusé auprès des nœuds capteurs des informations concernant la chaîne à établir, puis vient la formation de la chaîne qui débute par le nœud le plus éloigné de la SB jusqu'à ce que tous les nœuds soient inclus dans la chaîne.

Après la construction de la chaîne et au cours de la deuxième phase vient l'étape de la collecte de données ou chaque nœuds transmet ses informations à son nœud voisin le plus proche, puis celui-ci procède à l'agrégation de ses propres données avec celles préalablement réceptionnées et les transmet à son tour vers son voisin le plus proche. Chaque nœud réalise le même travail jusqu'à ce que l'information arrive à la SB [36, 22].

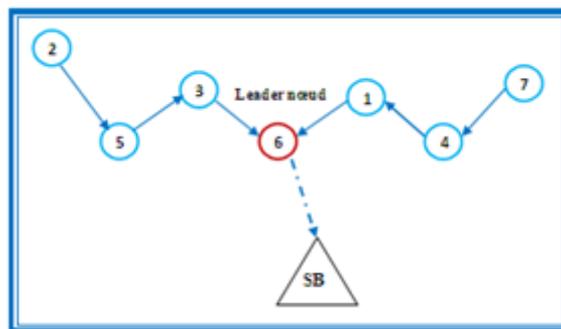


FIGURE 2.7: Protocole de Routage PEGASIS

### 2.5.13 Avantages et inconvénients de PEGASIS

#### 1. Avantages de protocole PEGASIS :

- Le changement régulier des chefs des clusters par période diminue le risque de partitionnement du réseau.
- Utilisation d'agrégation des données qui minimise le nombre des transmissions et qui conserve l'énergie.

#### 2. Inconvénients de protocole PEGASIS :

- Le choix d'un seul nœud responsable de la communication avec la station de base, à chaque période engendrée, des coûts supplémentaires en énergies.
- Le délai de transmission des données est très important lorsque la chaîne formée est très longue.

### 2.5.14 Hierarchical PEGASIS (H-PEGASIS)

Ce protocole est une amélioration du protocole PEGASIS, pour éviter les collisions et les interférences dues aux signaux le long des nœuds du réseau, et dans le but de réduire le retard dans PEGASIS. Deux approches ont été étudiées pour éviter les collisions et les signaux possibles interférence entre les capteurs :

- La première approche était d'incorporer les codages du signal reçu et transmis, par exemple : CDMA (*Code Division Multiple Access*).
- La seconde approche étant de permettre juste aux nœuds qui sont spatialement séparés de transmettre les données en même temps, Le protocole basé sur une chaîne avec des nœuds capables CDMA, construit une chaîne de nœuds, qui forme une hiérarchie en forme d'arbre, et chaque nœud sélectionné à un niveau particulier transmet des données au nœud dans la partie supérieure niveau de la hiérarchie, cette méthode permet d'assurer la transmission parallèle de données, et réduit les retards. Puisque l'arbre est équilibré [15, 37]

### 2.5.15 Avantages et inconvénients de H-PEGASIS

#### 1. Avantages de protocole H-PEGASIS :

- Assurer la transmission parallèle de données et réduit les retards.

#### 2. Inconvénients de protocole H-PEGASIS :

- les nœuds de capteurs utilisent la communication à sauts multiples pour atteindre le SB.
- H-PEGASIS suppose que tous les nœuds de capteurs ont le même niveau d'énergie et sont susceptibles de mourir au même le temps.

## 2.6 Comparaison entre les différents protocoles de routage

Le tableau 2.2 montre la comparaison entre les protocoles de routage base sur le clustering étudiés précédemment suivant les points :

| Protocole  | Routage             | Mobilité | Agrégation des données | Cluster équilibré | Scalabilité | Multi hop |
|------------|---------------------|----------|------------------------|-------------------|-------------|-----------|
| LEACH      | Base sur le cluster | SB fixée | Oui                    | Non               | Limité      | Non       |
| LEACH-C    | Base sur le cluster | SB fixée | Oui                    | Non               | Limité      | Non       |
| NN-LEACH   | Base sur le cluster | SB fixée | Oui                    | Non               | Limité      | Non       |
| Fire-LEACH | Base sur le cluster | SB fixée | Oui                    | Oui               | Moyen       | Non       |
| LEACH-V    | Base sur le cluster | SB fixée | Oui                    | Non               | Bonne       | Non       |
| HEED       | Base sur le cluster | SB fixée | Oui                    | Oui               | Bonne       | Oui       |
| PSO-HC     | Base sur le cluster | SB fixée | Oui                    | Oui               | Moyen       | Oui       |
| PEGASIS    | Basée sur le chaîne | SB fixée | Non                    | Non cluster       | Non cluster | Non       |
| H-PEGASIS  | Basée sur le chaîne | SB fixée | Non                    | Non cluster       | Non cluster | Oui       |

TABLE 2.2: Comparaison de différents protocoles de routage [24, 36]

## 2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié des différentes approches de routage base sur le clustering comme le protocole LEACH et les protocoles dérivés de protocole LEACH les protocoles HEED et PSO-HC, PEGASIS et H-PEGASIS qui nous a permis de bien comprendre les techniques de clustering ainsi que de mettre en relief les avantages et les inconvénients des approches adoptées pour cette techniques de routage.

Dans le chapitre suivant, nous allons introduire un protocole de routage base sur le clustering utilise l'algorithme k-means.

# Protocole de routage basé sur le clustering utilise l'algorithme k-means

## 3.1 Introduction

Le clustering ou le regroupement est la technique la plus utilisée pour résoudre les problèmes d'apprentissage non supervisé. La mise en cluster consiste à séparer ou à diviser un ensemble de données en un certain nombre de groupes, de sorte que les ensembles de données appartenant aux mêmes groupes se ressemblent davantage que ceux d'autres groupes. En termes simples, l'objectif est de séparer les groupes ayant des traits similaires et de les assigner en grappes.

Dans ce chapitre, nous parlons des méthodes de clustering de façon général et en particulier la méthode de k-means (k-moyennes), nous présentons un protocole de routage qui se base sur le clustering en utilisant l'algorithme k-means, après le chapitre s'achève par une conclusion.

## 3.2 Méthodes de clustering

Les méthodes adoptées pour définir les clusters sont généralement classifiées en quatre types suivants :

- Clustering hiérarchique (Hierarchical clustering).
- Clustering base sur la densité (Density-based clustering).
- Clustering basé sur les grilles (Grid-based clustering).
- Clustering par partitionnement (Partitional clustering).

### 3.2.1 Clustering hiérarchique (Hierarchical clustering)

Le principe des algorithmes hiérarchique est de construire un arbre de clusters appelé Dendrogramme, c-a-d'il lie les individus les plus proches entre eux, deux par deux, jusqu'à former un diagramme en arbre de clusters [38].

### 3.2.2 Clustering base sur la densité (Density-based clustering)

La méthode identifie les classes en se basant sur la densité des objets dans une région. Les objets sont alors clusters non pas sur la base d'une distance mais sur la base de la densité de voisinage dans une région limite.

### 3.2.3 Clustering base sur les grilles (Grid-based clustering)

Les algorithmes de clustering basés sur une grille couvrent d'abord le domaine spatial problématique avec de grille uniforme. En fait , avec une telle représentation des données , au lieu de faire la classification dans l'espace de données , on le fait dans l'espace spatial en utilisant des informations statistiques des points dans la cellule.

Les performances du clustering ne dépendent que sur la taille des grilles qui est généralement beaucoup moins que les objets de données [39].

### 3.2.4 Clustering par partitionnement (Partitional clustering)

C'est une méthode de partitionnement construit k partitions des données, où chaque partition représente un cluster, où chaque groupe doit contenir au moins un objet et chaque objet doit appartenir à un groupe exactement [38].

## 3.3 Méthode de Clustering par partitionnement

Dans le cadre de la classification non supervisée, on cherche généralement à partitionner les données en classes concentrées et isolées les unes des autres.

Il existe plusieurs méthodes de clustering par partitionnement, parmi elles on cite : la méthode basée sur les centroïdes (K-means).

### 3.3.1 Méthode de k-means (k-moyennes)

A été introduite par J. McQueen en l'année 1967 [40], et mise en œuvre sous sa forme actuelle par E. Forgy. Un des plus simples algorithmes d'apprentissage non supervisé, appelée algorithme des centres mobiles.

Il s'agit d'un algorithme de Clustering. Ce dernier va mettre dans des groupes (Clusters) les données qui se ressemblent. Les données se trouvant dans le même cluster sont similaires.

L'algorithme K-means consisté à affecter aléatoirement des centres de clusters appelés (*centroids*), et ensuite assigner chaque point de nos données au centroid qui lui est le plus proche. Cela s'effectue jusqu'à assigner toutes les données à un cluster. Une boucle est générée jusqu'à ce que les k centroids ne changent plus d'emplacement, c'est-à-dire que les centroids ne bougent plus, comme montre la Figure 3.1.

Enfin, cette méthode vise à minimiser la fonction objective suivante l'équation(3.1) :

$$j = \sum_{j=0}^k \sum_{i=0}^n \|x_i^j - C_j\|^2 \quad (3.1)$$

Où

$\|x_i^j - C_j\|^2$  est une mesure de distance choisie entre un point de données  $x_i^j$  et le centre du groupe  $C_j$ . Ceci est un indicateur de la distance entre les n points de données et leurs centres de cluster respectifs.

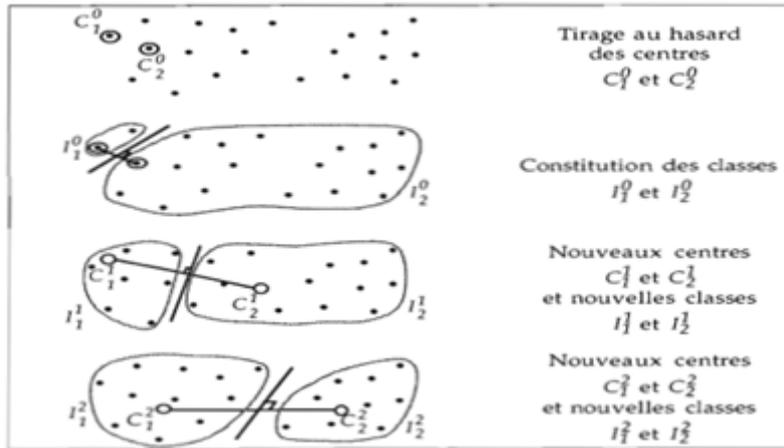


FIGURE 3.1: Étapes de l'algorithme de k-means [41]

### 3.3.2 Avantages et inconvénients de k-means

#### 1. Avantages de k-means :

Nous pouvons citer quelques avantages de k-means par :

- Leur grande simplicité et rapidité.
- Il est très facile à comprendre.
- Applicable a des données de grande taille.
- Il est applicable à tout type de donnée, en choisissant une bonne notion de distance.

#### 2. Inconvénients k-means :

- Le nombre de classes (k) doit être fixé au départ.
- Le résultat dépend de tirage initial des centres des classes.
- Les clusters sont construits par rapport à des objets inexistantes (les milieux).
- N'est pas applicable en présence d'attributs qui ne sont pas du type intervalle.

### 3.4 Algorithme k-means (k-moyennes )

Algorithme des K-Moyennes est l'un des algorithmes de clustering le plus connu et plus simple. Cet algorithme partitionne l'ensemble de données en k groupe en utilisant la moyenne de distance euclidienne, k-means est de nature itérative Il suit les étapes suivantes :

#### 1. Algorithme des K-Moyennes :

Données : k le nombre maximum de classes désiré.

Début

- 1- Choisir k individus au hasard (comme centre des classes initiales).
- 2- Affecter chaque individu au centre le plus proche.
- 3- Recalculer le centre de chacune de ces classes.
- 4- Répéter l'étape (2) et (3) jusqu'à stabilité des centres.

FIN

### 3.5 Mesure de similarité

La similarité est une partie importante de la définition d'une méthode de clustering et pour mesurer la similarité entre les objets, nous pouvons définir par une mesure de distance, la distance est un outil pour réaliser cette comparaison utilisée pour regrouper les objets entre eux selon les fonctions de distance.

### 3.5.1 La distance Euclidienne

La distance entre les points de données est calculée en utilisant la distance Euclidienne définie par l'équation (3.2) :

$$Distance(x, y) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (3.2)$$

Où

$(x_1, y_1)$  et  $(x_2, y_2)$  sont respectivement les coordonnées des nœuds  $x$  et  $y$ . Cette phase va diviser le réseau en clusters disjoint est la distance euclidienne au carré entre deux points  $x$  et  $y$  dans l'espace  $n$  dimensionnel.

### 3.5.2 La distance de Manhattan

La distance entre deux points est la somme des différences (absolues) de leurs coordonnées définies par l'équation (3.3).

$$Distance(x, y) = \sum |x_i - y_i| \quad (3.3)$$

La distance de Manhattan, également appelée distance rectiligne, est définie comme la somme des longueurs des projections du segment de ligne entre les points sur les axes des coordonnées.

### 3.5.3 La distance de Minkowski

La distance entre deux objets est calculée en utilisant la distance de Minkowski définie par l'équation (3.4) :

$$Distance(i, j) = \sqrt[q]{(|x_{i1} - x_{j1}|^q + |x_{i2} - x_{j2}|^q + \dots + |x_{ip} - x_{jp}|^q)} \quad (3.4)$$

Où

$i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$  et  $j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jp})$  sont deux objets  $p$ -dimensionnels et  $q$  un entier positif haute dimension.

## 3.6 Nombre optimal des clusters

Parmi l'inconvénient d'algorithme K-means est prédire le nombre optimal de clusters ou la valeur de  $k$ , pour cela il existe plusieurs méthode de choisir le bon nombre de clusters comme méthode Silhouette et la méthode du Coude.

### 3.6.1 Méthode silhouette

Méthode ou le coefficient de silhouette est utilisée pour étudier la distance de séparation entre les clusters résultants. Le graphique en silhouette affiche une mesure de la proximité de chaque point d'un cluster par rapport aux points des clusters voisins et fournit ainsi un moyen d'évaluer visuellement des paramètres tels que le nombre de clusters. Cette mesure a une plage de  $[-1, 1]$ , [42].

1 : Signifie que les clusters sont bien séparés les unes des autres et clairement distinguées.

0 : Signifie que les clusters sont indifférents, ou on peut dire que la distance entre les clusters n'est pas significative.

-1 : Signifie que les clusters sont attribués de manière incorrecte.

Le coefficient de Silhouette est défini comme suit :

$$S(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))} \quad (3.5)$$

Où :

$a(i)$  = distance moyenne intra-cluster, c'est-à-dire la distance moyenne entre chaque point au sein d'un cluster, la distance moyenne intra-cluster est défini comme :  $a(i)$  = distance moyenne intra-cluster, c'est-à-dire la distance moyenne entre chaque point au sein d'un cluster, la distance moyenne intra-cluster est défini comme :

$$a(i) = \frac{1}{|C_i| - 1} \sum_{j \in C_i, i \neq j} d(i, j) \quad (3.6)$$

Où

$d(i, j)$  est la distance entre les points des données  $i$  et  $j$  dans le cluster  $C_i$ .

$b(i)$  = distance moyenne entre les groupes, c'est-à-dire la distance moyenne entre tous les groupes, la distance moyenne entre les groupes est définie comme :

$$b(i) = \min_{k \neq i} \frac{1}{|C_k|} \sum_{j \in C_k} d(i, j) \quad (3.7)$$

### 3.6.2 Méthode du coude

La méthode du coude est un outil graphique utile pour estimer le nombre optimal de clusters  $k$  pour une tâche donnée. Si le graphique en courbes ressemble à un bras, alors le «coude» (le point d'inflexion sur la courbe) est le nombre optimal de cluster  $k$ .

La méthode du coude est une technique itérative pour minimiser la somme des erreurs quadratiques intra-cluster (SSE) pour différentes valeurs de  $k$ , qui est parfois aussi appelée

inertie du cluster , et choisissez le k pour lequel SSE commence à diminuer, SSE est défini comme suit :

$$SSE = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k w^{(i,j)} \| x^{(i)} - u^{(j)} \|^2 \quad (3.8)$$

Où

- \*  $u^{(j)}$  est le centroid de cluster j.
- \*  $w^{(i,j)} = 1$  si l'échantillon (point des données)  $x^{(i)}$  est dans le cluster j.  
= 0 si l'échantillon (point des données)  $x^{(i)}$  n'est pas dans le cluster j.

L'idée est que nous voulons un petit SSE, mais que le SSE a tendance à diminuer vers 0 lorsque nous augmentons k (le SSE est 0 lorsque k est égal au nombre des points des données dans l'ensemble des données, car alors chaque point des données est le sien cluster, et il n'y a aucune erreur entre lui et le centre de son cluster). Notre objectif est donc de choisir une petite valeur de k qui a toujours un SSE faible.

### 3.7 Description de protocole de routage basé sur le clustering utilise l'algorithme k-means

Plusieurs recherches étaient sur les protocoles de routage basé sur le clustering utilisée la méthode K-means par exemple :

- LEACH-CKM : Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy protocol with K-means and MTE pour **Djamila Mechta et all**, de l'année **2014**.
- Evolving Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks with Various Radiation Patterns to Reduce Energy Consumption pour **Alaa F. Sheta et all**, de l'année **2015**.
- Research on Clustering Routing Algorithm based on K-means for WSN pour **Xiang Yang** en **2017**.
- An improved K-means Cluster-based Routing Scheme for Wireless Sensor Networks pour **Mohamed LEHSAINI** de l'année **2018** ...etc.

Nous avons pris l'idée de ces études qui nous a aidés à comprendre la méthode puis nous avons fait une amélioration sur ce protocole.

Avant de lancer le protocole, nous supposons un modèle de réseau de capteurs avec les caractéristiques suivantes :

- ✓ Les nœuds de capteurs sont publiés aléatoirement dans l'environnement et ils sont stables.
- ✓ La station de base est située au centre de la zone réseau.

- ✓ Au départ, tous les nœuds de capteurs ont la même énergie, et chaque nœud connaît sa propre position.
- ✓ Les positions et ID de tous les nœuds sont envoyés à La station de base.

Le protocole de routage base sur les clusters utilise l'algorithme k-means lequel le processus de clustering est exécuté de manière centralise au niveau de la station de base, le protocole de routage se compose de deux phases principales : la phase de configuration et la phase stationnaire où la deuxième phase est la même de Heinzelman et al [21]. Lors de la phase de configuration les clusters sont formés et organisés à baser sur l'algorithme K-Means et les nœuds chefs des clusters sont élus et lors de la phase stationnaire la communication entre les nœuds membres et le chef de cluster et après CH envoie les données à la station de base.

### 3.7.1 Phase de configuration

Dans la phase de configuration deux sous phases se déroule : la formation des clusters et l'élection des chefs des clusters.

#### 1. Formation des clusters :

Pendant la phase de configuration, la station de base recueille les positions de tous les nœuds du réseau utilisant un système de localisation tel que le GPS et effectué l'algorithme de clustering K-means après avoir déterminé le nombre de groupes et les positions des centroïdes. Lorsque le processus est terminé, la station de base envoie une annonce à chaque nœud de capteur affilié à un cluster, Les clusters générés sont équilibrés en termes de nombre des nœuds.

#### 2. L'élection des chefs des clusters :

Le protocole de routage se déroule en rounds à partir de cette sous phase.

Au cours de cette sous-phase, dans chaque cluster, un chef de cluster est élu de manière répartie comme suit :

Chaque membre calcule son Coût en fonction de son énergie résiduelle et la distance qui le sépare du centroïde comme présenté dans l'équation (3.9), et l'envoie à tous les membres du cluster pour auquel il appartient, Le nœud avec le plus grand Coût devient Chef de cluster pendant ce tour [45].

$$Cost(Node_i) = \alpha Energy + \frac{\beta}{dist(Node_i, Centroid)} \quad (3.9)$$

Avec  $\alpha = 0.95$  et  $\beta = 0.05$

Où les coefficients  $\alpha + \beta = 1$ .

Les deux paramètres doivent être bien choisis pour assurer de meilleures performances.

A cet effet, nous ont fait varier ces deux coefficients pour trouver les meilleures valeurs où  $\alpha \in ]0.75, 1[$ ;  $\beta \in ]0.05, 0.25[$ . Quand on promeut l'énergie à distance les résultats sont meilleurs. Et pour évaluer les performances de notre protocole de clustering, nous avons utilisé  $\alpha = 0.95$  et  $\beta = 0.05$  [45].

### 3.7.2 Phase stationnaire

Dans la phase stationnaire deux sous phases se déroulent : la Communication et L'envoi des données.

1. **Communication** : Une fois la sélection des chefs de groupes est faite, ces derniers annoncent leurs décisions jointes avec leurs identifiants à tous les nœuds membres de cluster, les nœuds envoient le message de rejoindre à son chef cluster, Ensuite, chaque CH envoie un ordonnancement TDMA qui permet d'assigner à chaque nœud un slot de temps pour la transmission de ses données.
2. **L'envoi des données** : Une fois l'ordonnancement est connu par tous les nœuds du même cluster, chacun d'eux utilise le temps qui lui a été consacré pour transmettre au chef de cluster les données captées. Le chef de cluster exécute, par la suite, des algorithmes de fusion de données pour agréger les données reçues et minimiser ainsi la quantité d'informations transmises à la station de base selon une communication à un seul saut.

A la fin La Figure 3.2 présente les étapes de déroulement le protocole de routage basé sur l'algorithme K-Means pour RCSF.

- 1- Les capteurs envoient ses informations de localisation et ID à SB
2. La SB crée un certain nombre de groupes basés sur le nombre des nœuds de RCSF en fonction de la méthode du coude.
3. Applique l'algorithme K.means.
4. la SB diffuse la liste des clusters à RCSF.
5. En recevant la liste, chaque cluster sélectionne un chef en fonction de son énergie résiduelle et la distance qui le sépare du centroïde.
6. Après s'annonce aux nœuds de capteur adjacents
7. Chaque chef de cluster diffuse requis TDMA pour les membres du cluster.
8. Chaque capteur transmet ses données dans sa période de temps à son chef de cluster.

FIGURE 3.2: Les étapes de déroulement le protocole

### 3.8 Modèle Énergétique

Le modèle utilisée est le modèle énergétique de référence proposé par Heinzelman et al [21]. Selon ce modèle La consommation d'énergie se décline en deux parties : l'énergie de réception ( $E_{RX}$ ) et l'énergie de transmission ( $E_{TX}$ ) comme montre la Figure 3.3.

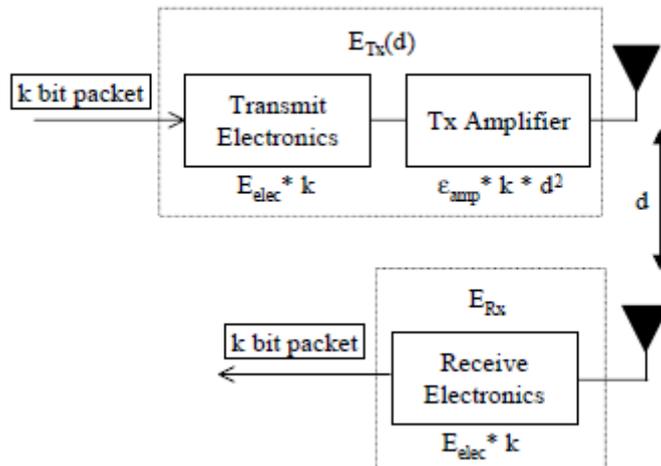


FIGURE 3.3: Le modèle de dissipation de l'énergie [21]

- 1- Pour recevoir un message de  $L$  bits, le récepteur consomme l'énergie décrite dans l'équation (3.10).

$$E_{RX}(L) = L * E_{elec} \tag{3.10}$$

2- Et pour transmettre un message de  $L$  bits sur une distance  $d$ , l'émetteur consomme l'énergie décrite dans l'équation (3.11).

$$E_{TX}(L, d) = \begin{cases} L * E_{elec}(L, d) + L * \varepsilon_{fs} * d^2, & d < d_o \\ L * E_{elec}(L, d) + L * \varepsilon_{mp} * d^4, & d > d_o \end{cases} \quad (3.11)$$

$E_{elec}$  : L'énergie suffisante pour transmettre ou recevoir un seul bit.

$\varepsilon_{fs}$  : Facteur de l'amplification correspond au modèle (*free space propagation*).

$\varepsilon_{mp}$  : Facteur de l'amplification correspond au modèle (*multipath fading propagation*).

$L$  : La taille d'un message.

$d$  : La distance entre l'émetteur et le récepteur.

$d_o$  : La distance limite pour laquelle les facteurs d'amplification changent de valeur.

Lorsque la distance  $d$  dépasse un certain seuil  $d_o$  comme décrit dans l'équation (3.12) est supérieure à  $d_o$ , le modèle multi-path propagation (mp) est utilisé, et dans le cas inférieur, le modèle propagation en espace libre (fs) est utilisée.

$$d_o = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}} \quad (3.12)$$

### 3.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la méthode k-means l'une des approches non hiérarchiques et les plus populaires, nous avons présenté un protocole de routage basé sur le clustering qui utilise l'algorithme k-means, ce protocole permet de former des clusters homogènes en se basant sur la distance entre les nœuds et le centroïde. Ensuite, le nœud qui a l'énergie maximale et la meilleure position pour chaque cluster, est élu comme chef de cluster. En outre, chaque chef de cluster commence la transmission les données vers la station de base après la agrège les données reçues des nœuds membres.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter la stratégie du protocole de routage utilisée dans notre application.

# Simulation et analyse des résultats

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons notre contribution résumée en : schématise du fonctionnement de protocole proposé, simulation et analyse les résultats en terme d'efficacité énergétique de notre protocole, pour cela, certains paramètres ont été pris en compte lors de la simulation. Ces paramètres sont sélectionnés en se basant sur des travaux antérieurs pour des applications similaires.

## 4.2 Le Schéma du déroulement du protocole de routage

Le schéma de protocole de routage basé sur le clustering utilise l'algorithme k-means se déroule en rounds. Dans la première étape :

### 4.2.1 Formation des clusters

La première phase vise à organisé le réseau en clusters par la formation des clusters lequel le processus de clustering est exécuté de manière centralisé au niveau de la station de base. Pendant cette phase, la station de base recueille les positions et ID de tous les nœuds du réseau, après La SB appliqué la méthode du coude pour estimer le nombre optimal de clusters  $k$ . Ensuite l'algorithme K-means est exécuté, la construction des clusters selon les phases suivantes :

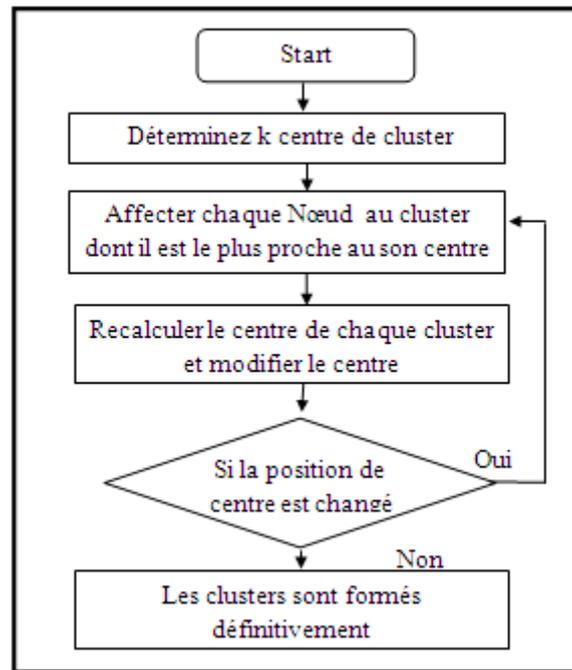


FIGURE 4.1: Les phases de formation les clusters

#### 4.2.2 L'élection des chefs des clusters

Une fois la construction des clusters est achevée, la station de base envoie une annonce à chaque nœud de capteur affilié à un cluster, après la création de CH commence au niveau de chaque cluster selon le processus suivant :

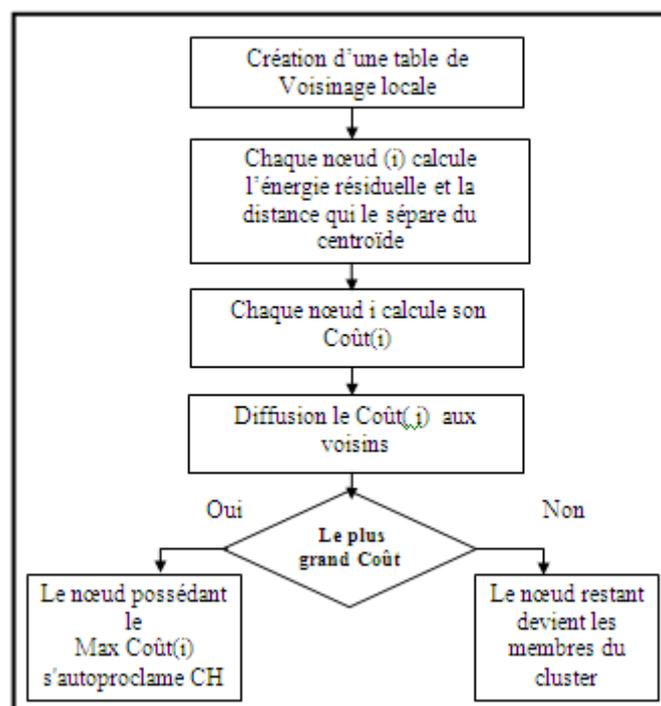


FIGURE 4.2: Processus d'élection de chef de cluster

### 4.2.3 Communication

Une fois la sélection des chefs de groupes et faite, la sous- phase de communication est la même présentée dans [21], la sous- phase de communication commence selon l’organigramme suivant :

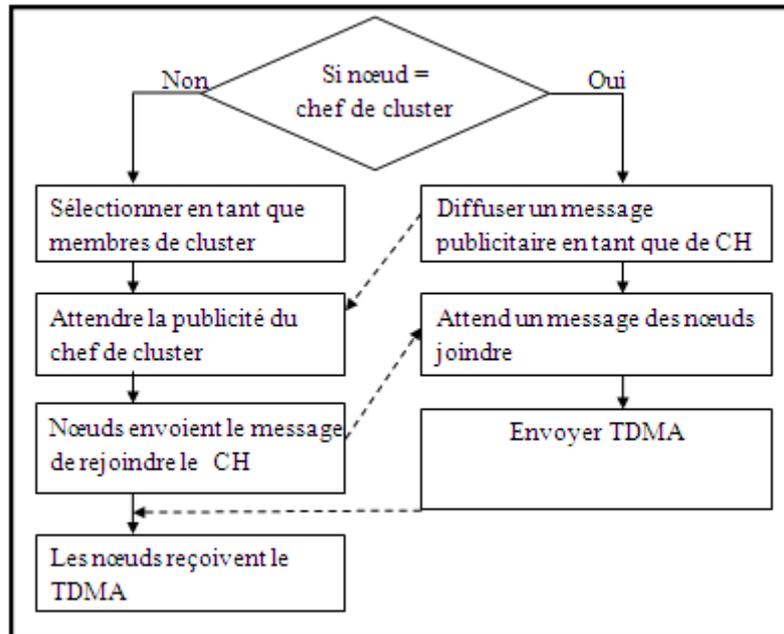


FIGURE 4.3: Organigramme de communication entre CH et les nœuds membres [21]

### 4.2.4 L’envoi des données

L’ordonnancement est connu par tous les nœuds du même cluster, pour cela chacun d’eux utilise le temps qui lui a été consacré pour transmettre au CH les données captées. Le CH applique, par la suite, un processus d’agrégation aux données reçues. A la fin l’information transmise à la station de base.

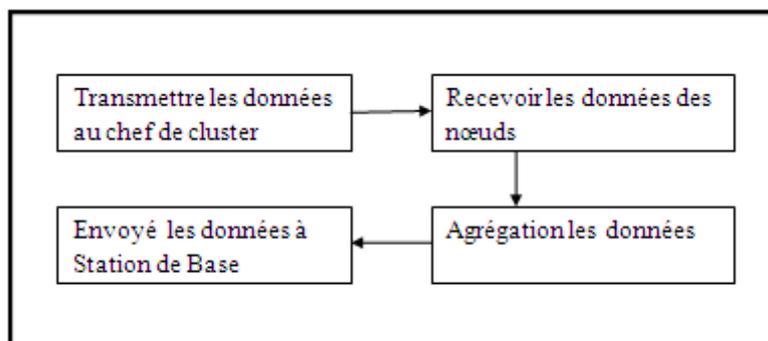


FIGURE 4.4: Schéma de transmission des données

### 4.3 Environnement de simulation

Selon Shannon [44], la simulation est « le processus de modélisation d'un système réel sur lequel on opère des expérimentations afin de comprendre son comportement et/ou d'évaluer plusieurs stratégies opérationnelles sur ce système ». Cela veut dire qu'une simulation est une représentation fidèle d'un système réel avec des hypothèses initiales, et pour le réaliser nous allons utiliser langage de programmation Python version 3.7.

Python est un langage de programmation open source le plus employé créé par Guido van Rossum et publié pour la première fois en 1991. Ce langage Python est une programmation de haut niveau interprétée, orientée objet s'est propulsé en tête de la gestion d'infrastructure, d'analyse de données ou dans le domaine du développement de logiciels, développer du code avec Python est plus rapide qu'avec d'autres langages.

### 4.4 Étapes de la simulation

Tous les nœuds du réseau commencent la simulation par énergie initiale égale à 0.5 J et nous avons utilisé le modèle énergétique proposé par Heinzelman et al [21]. De plus, l'énergie de la station de base est considérée comme illimitée.

Nous résumons l'ensemble des paramètres utilisés pour les simulations dans le tableau 4.1 suivant :

| Paramètres                        | Valeurs                     |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| La surface du réseau              | 80 * 80 m <sup>2</sup>      |
| La position de la station de base | X = 40, Y = 40              |
| Le nombre de nœuds                | 20                          |
| L'énergie initiale de nœud        | 0.5 J                       |
| Eelec (énergie de calcul)         | 50 * 10 <sup>-9</sup> J/bit |
| D seuil ( $d_o$ )                 | 87                          |
| $\varepsilon_{fs}$                | 10e - 12                    |
| $\varepsilon_{mp}$                | 0.0013e - 12                |
| Taille d'un paquet de données     | 4000 bits                   |
| Rayon de détection maximal        | 20 m                        |
| Data agrégation ( $E_{DA}$ )      | 5nJ/bit/Signal              |

TABLE 4.1: Paramètres de simulation

#### 4.4.1 Déploiement des nœuds capteurs

Nous avons choisi un environnement de développement Python dans lequel les nœuds sont homogènes et déployés aléatoirement dans l'environnement opérationnel. Nous avons considéré un réseau de 20 nœuds déployés dans une surface carrée de  $(80 * 80)$  m<sup>2</sup> dont la Figure 4.5 montre la déploiement des nœuds avec le positionnement de la station de base qui se trouve au centre  $(x,y) = (40, 40)$ .

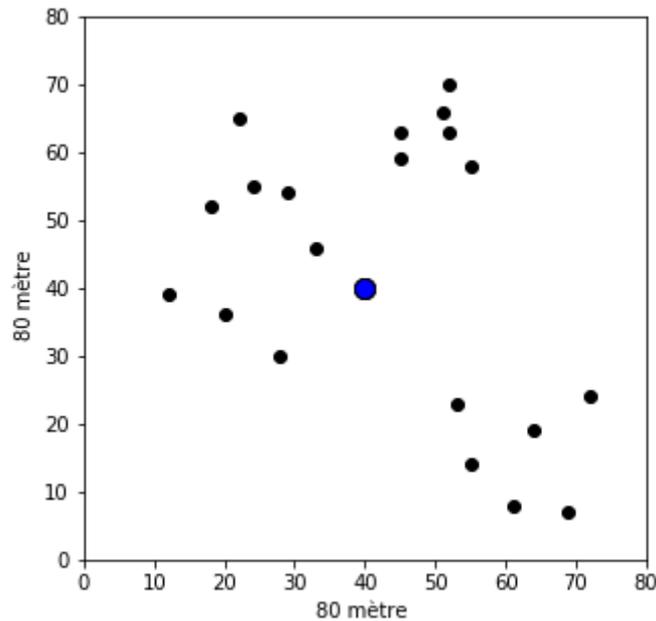


FIGURE 4.5: Déploiement des nœuds capteurs

#### 4.4.2 Nombre des clusters

Après le déploiement des nœuds, les nœuds envoient leur position à SB, de leur tour SB utilise la méthode du coude pour estimer le nombre optimal des clusters  $k$ .

Comme nous pouvons le voir dans le graphique résultant en dessous, le coude est situé à  $k = 3$ , ce qui prouve que  $k = 3$  est en effet un bon choix pour cet ensemble de données et le graphique se stabilise rapidement après  $k = 3$ .

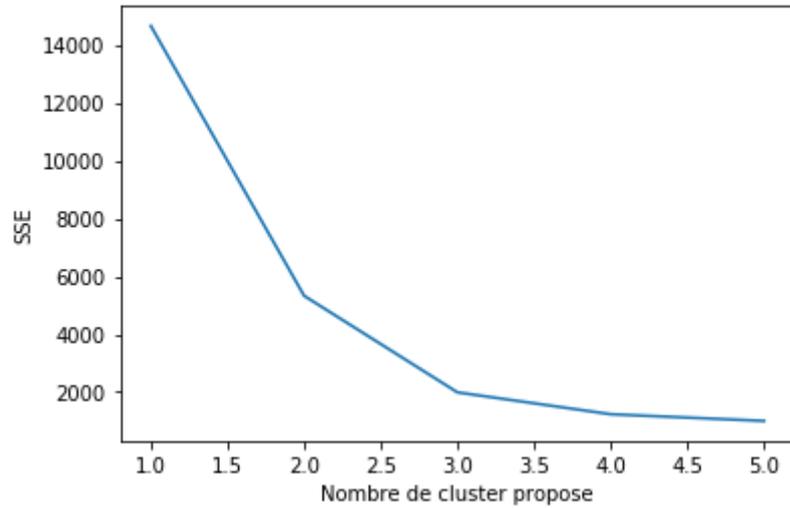
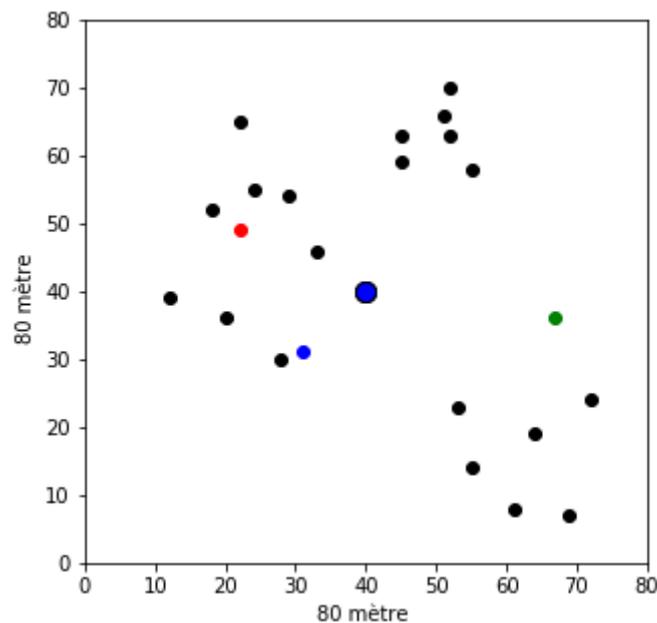


FIGURE 4.6: Nombre optimal des clusters

#### 4.4.3 Formation des clusters

La SB va former les clusters et l'organiser, basés sur l'algorithme K-Means centralise.

1. Le nombre optimal de clusters  $k$  est fixé. Chaque centroïde prend une couleur différente pour différencier entre tous les clusters comme montre la Figure 4.7.

FIGURE 4.7: 1<sup>er</sup> étape de Formation des clusters

2. Affecter chaque nœud au centroïde le plus proche, ce qui donne une partition en 3 cluster  $P = \{k1, k2, k3\}$

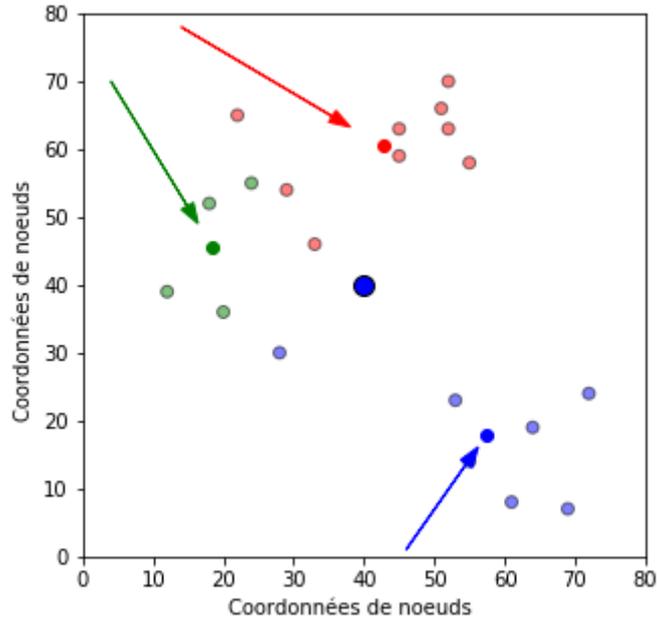


FIGURE 4.8: 2<sup>eme</sup> étape de Formation des clusters

3. Calculer le nouveau centre de cluster (centroïde) en calculant la valeur moyenne de tous les noeuds dans le cluster respectif, c'est-à-dire comment les noeuds sont classés dans les 3 clusters. Nous appliquons la distance euclidienne au carré, comme montre la Figure 4.9.

|    | x  | y  | distance_from_1 | distance_from_2 | distance_from_3 | closest | color |
|----|----|----|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-------|
| 0  | 12 | 39 | 29.427878       | 35.227830       | 65.069194       | 1       | r     |
| 1  | 20 | 36 | 22.472205       | 27.892651       | 57.314920       | 1       | r     |
| 2  | 28 | 30 | 19.104973       | 23.021729       | 50.447993       | 1       | r     |
| 3  | 18 | 52 | 24.351591       | 30.364453       | 59.841457       | 1       | r     |
| 4  | 22 | 65 | 28.319605       | 33.301652       | 59.615434       | 1       | r     |
| 5  | 29 | 54 | 15.620499       | 21.095023       | 49.477268       | 1       | r     |
| 6  | 33 | 46 | 8.246211        | 14.317821       | 44.181444       | 1       | r     |
| 7  | 24 | 55 | 20.248457       | 25.942244       | 54.571055       | 1       | r     |
| 8  | 45 | 59 | 15.524175       | 16.124515       | 36.235342       | 1       | r     |
| 9  | 45 | 63 | 19.416488       | 20.099751       | 38.275318       | 1       | r     |
| 10 | 52 | 70 | 28.231188       | 27.459060       | 37.536649       | 2       | g     |
| 11 | 51 | 66 | 24.166092       | 23.345235       | 35.383612       | 2       | g     |
| 12 | 52 | 63 | 21.954498       | 20.615528       | 32.649655       | 2       | g     |
| 13 | 55 | 58 | 19.798990       | 17.000000       | 27.202941       | 2       | g     |
| 14 | 53 | 23 | 24.186773       | 20.880613       | 30.610456       | 2       | g     |
| 15 | 55 | 14 | 33.105891       | 30.083218       | 35.608988       | 2       | g     |
| 16 | 61 | 8  | 41.182521       | 37.696154       | 37.576588       | 3       | b     |
| 17 | 64 | 19 | 33.970576       | 29.410882       | 26.419690       | 3       | b     |
| 18 | 69 | 7  | 46.400431       | 42.190046       | 35.902646       | 3       | b     |
| 19 | 72 | 24 | 36.891733       | 31.400637       | 18.681542       | 3       | b     |

FIGURE 4.9: 3<sup>eme</sup> étape de Formation des clusters

Comme vous pouvez le voir au-dessus, 10 nœuds appartiennent au cluster 1 (Rouge), par contre 6 nœuds appartiennent au cluster 2 (Verte) tandis que les autres appartiennent au cluster 4 (Bleu), ce qui signifie que les clusters ne sont pas homogènes aux distances entre les nœuds et les centroïdes et le nombre des nœuds.

4. -Répéter l'étape (2) et (3) jusqu'à ce que les  $k$  centroïdes ne changent plus d'emplacement, c'est-à-dire que les centroïdes ne bougent plus, les clusters sont formés et stables, comme illustré la Figure 4.10.

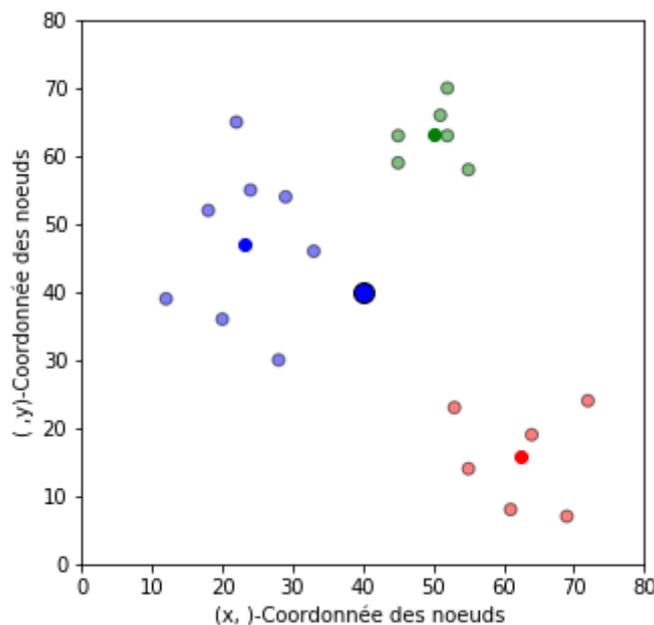


FIGURE 4.10: Étape final de Formation des clusters

Comme vous pouvez le voir au-dessus, 6 nœuds appartiennent au cluster (Verte) et 6 nœuds appartiennent au cluster (Bleu), tandis que les autres appartiennent au cluster (Rouge), ce qui signifie que les clusters sont formés et stables.

#### 4.4.4 Phase stationnaire

Une fois l'élection des chefs des clusters est achevée et l'ordonnement est connu par tous les nœuds, chaque nœud transmet le paquet des données dans sa période de temps à son chef de cluster.

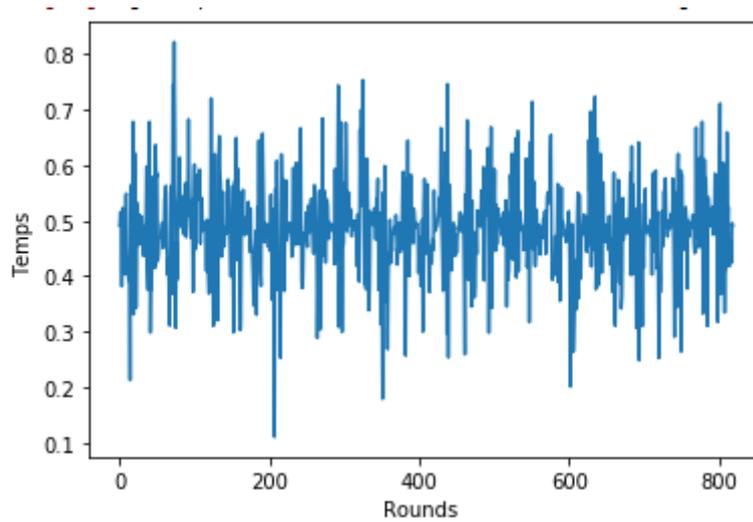


FIGURE 4.11: les paquets des données transmises

Par la suite, chaque nœud CH agrègera les paquets de données reçus de ses  $M$  nœuds capteurs avant d'envoyer un seul paquet des données à SB, comme montre la Figure 4.11. L'énergie dépensée dans ce processus est donnée par :

$$M * E_{DA} * k \quad (4.1)$$

## 4.5 Durée de vie du réseau

Dans le but d'évaluer la durée de vie du RCSF, nous avons utilisé la durée de vie du réseau en termes de nombre des rounds depuis le lancement de protocole vs nombre de nœuds morts, d'après les résultats obtenus et illustrés dans la Figure 4.12 : 830 itérations (rounds) sont exécutées.

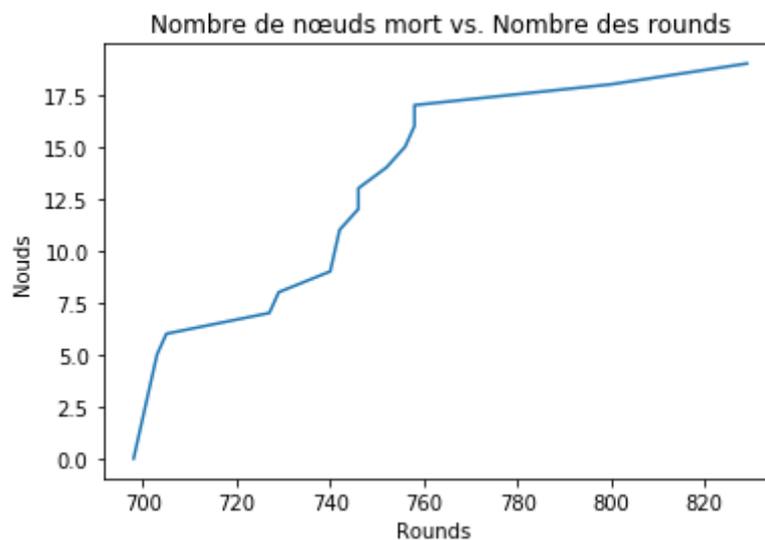


FIGURE 4.12: Nombre de nœuds morts vs nombre des rounds

## 4.6 Comparaison des résultats

Dans cette partie, nous avons comparé le protocole basé sur k-means avec le protocole LEACH en termes de la durée de vie du réseau et énergie résiduelle par round.

### 4.6.1 Consommation d'énergie

La Figure 4.13 représente la comparaison entre les protocoles en termes de l'énergie résiduelle par round. Nous constatons que les résultats sont offres de meilleurs résultats que le protocole LEACH en raison de la bonne répartition de la consommation d'énergie pendant la durée de vie du réseau.

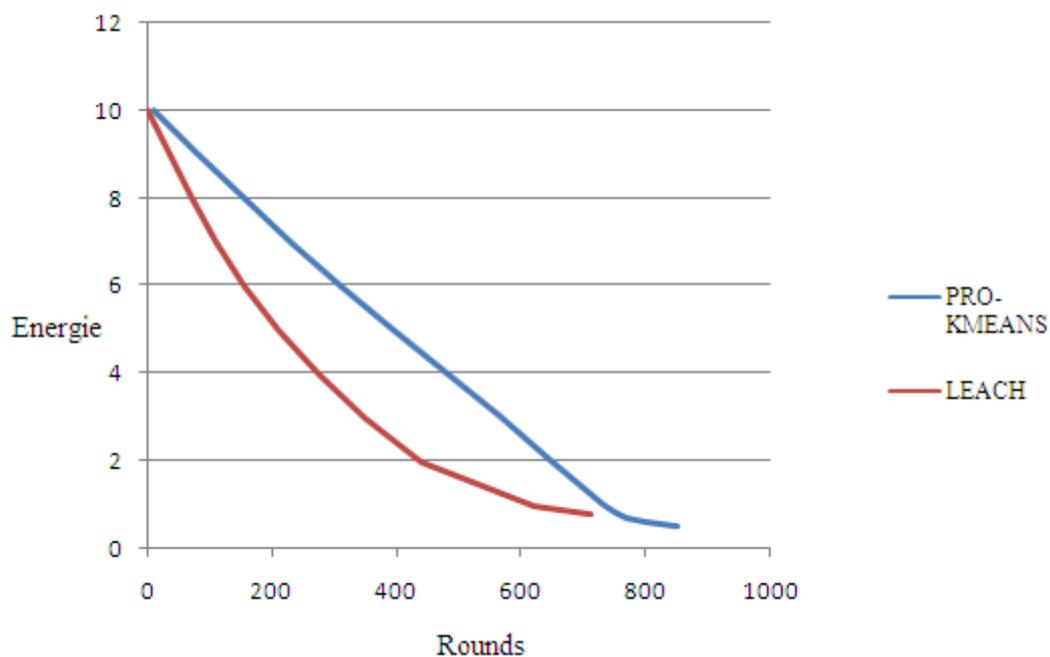


FIGURE 4.13: Consommation d'énergie

### 4.6.2 Comparaison en termes de la durée de vie

Nous avons utilisé la durée de vie du réseau en termes de nombre des rounds jusqu'au cycle ou : le premier nœud mort, 50 %des nœuds morts, le dernier nœud mort, comme montre la Figure 4.14.

```
le nombre de Round est : 830
the first dead is : 3 in the round : 698
the half dead is : 11 in the round : 740
the last dead is : 19 in the round : 829

r =
  750

first_dead_LEACH =
  216

half_dead_LEACH =
  409

all_dead_LEACH =
  750
```

FIGURE 4.14: Résultats des simulations

Nous remarquons qu'avec le protocole de routage basé sur l'algorithme k-means le premier nœud meurt au 698 round par contre le protocole LEACH à la 216 round, alors que 50 %des nœuds sont morts à la 409 round dans le protocole LEACH. En outre, la moitié des nœuds avec notre protocole sont morts au 740 round alors que le dernier nœud épuise leurs batteries au 750 round pour le protocole LEACH.

Par contre, dans le protocole basé sur k-means le dernier nœud mort après 829 rounds, ce qui indique que notre protocole permet une longue durée de vie par rapport au protocole LEACH.

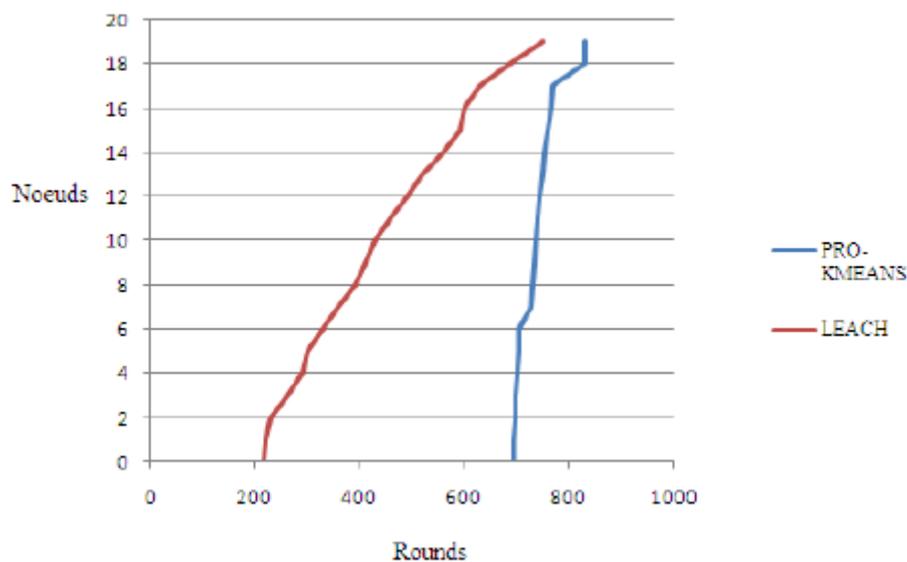


FIGURE 4.15: Comparaison en termes de la durée de vie

Comme montre la Figure 4.15, Le protocole propose basé sur k-means arrivé à prolonger la durée de vie par rapport au protocole LEACH parce que le premier ne perd pas d'énergie pour choisir les clusters puisque celui-ci est choisi par la station de base alors que le deuxième utilise son énergie pour choisir le CH et le cluster localement ce qui va diminuer sa durée de vie.

### 4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons analysé les performances de protocole de routage , il optimisait de la sélection des CHs et les clusters . L'algorithme implémenté prendre en considération l'énergie maximale et le centroïde.

Ensuite nous avons expliqué les différents paramètres utilisés dans la simulation, par la suite, nous avons décrit le déroulement de la simulation qui nous a permis d'obtenir les résultats de performance, et de bien comprendre le fonctionnement de notre protocole, dans l'environnement de simulation python.

L'analyse des résultats obtenus nous a permis de déduire que notre protocole de routage est le plus performant que le protocole LEACH, en termes de la consommation d'énergie du réseau qui donne une durée de vie du réseau prolongé.

# Conclusion Générale

Dans les dernières années, le domaine des réseaux de capteurs sans fil connaissait un grand intérêt grâce à ses diverses utilisations. Cependant, les RCSFs ont posé plusieurs problèmes qu'il est nécessaire de les résoudre afin d'exploiter de façon mieux ses performances.

Dans ce projet, nous avons découvert la façon de réaliser un projet, nous avons appris à savoir chercher, à savoir traiter les problèmes, et surtout à travailler collectivement et à s'aider pour enfin devenir capable et arriver à notre but.

Nous avons commencé par présenter les généralités qui entourent le domaine des réseaux de capteurs sans fil ses caractéristiques et ses applications dans différents domaines, puis nous avons focalisé notre étude sur les protocoles de routage à base de clustering. Ensuite, nous avons étudié la méthode k-means.

Notre contribution consiste à présenter un protocole de routage basé sur le clustering utilise l'algorithme k-means. Ce protocole consisté à organiser le réseau en clusters pour réduire la distance entre les nœuds capteurs dans le même cluster, pour consommer moins d'énergie lors de la transmission des données et pour chaque cluster le nœud qui a l'énergie maximale et la meilleure position dans le cluster est élu comme chef de cluster par conséquent pour prolonger la durée de vie du réseau, les simulations effectuées via le simulateur Python, ont montré que notre protocole est capable de prolonger la durée de vie du réseau par rapport au protocole LEACH.

Dans les travaux futurs, nous avons l'intention de compléter cette proposition en mettant en œuvre le protocole amélioré pour évaluer ses performances dans les réseaux à grande échelle. Les protocoles de routage dans les RCSFs peuvent être affectés par diverses attaques

malveillantes, nous étudierons l'efficacité de telles attaques contre notre protocole pour décider si nous devons inclure dans notre conception des mécanismes pour sécuriser la transmission des données des nœuds membres vers les CH puis vers la SB.

# Bibliographie

- [1] A.Djedjiga, K.Azamoum. *Optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil*. Thèse Master. Université de Bejaia. 2014.
- [2] A.Woo, S.Hullar, D.Culler, J.Hill, R.Szewczyk and K.Pister. *System Architecture Directions for Networked Sensor*, In Proceedings of International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems. pp.93-104. 2000.
- [3] Ibrahima DIANE. *Optimisation de la consommation d'énergie par la prise en compte de la redondance de mesure dans les réseaux de capteurs*. Thèse de Doctorat. Université de TOULOUSE. 2014.
- [4] Nisrine GHADBAN. *Fusion de l'information dans les réseaux de capteurs : application à la surveillance de phénomènes physiques*, Thèse de Doctorat. Université de TECHNOLOGIE DE TROYES. 2015.
- [5] M.LEHSAINI. *Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les réseaux de capteurs : application à la domotique*. Thèse de Doctorat. Université A.B Tlemcen et de Franche-Comté. 2009.
- [6] Diery NGOM. *Sécurité Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité*. Thèse de Doctorat. Université de Haute Alsace France et DAKAR. 2016.
- [7] A.CHOUHA. *Traitement et Transfert d'images Par Réseau de Capteurs sans Fil*. Mémoire de Magistère. Université de Batna. 2010-2011.
- [8] D.MAKHMOUKH, S.MELOUK. *Approche de minimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil*. Mémoire de Master. Université A/Mira de Béjaïa. 2017.
- [9] O.BOUAMARA, R.BOUAMARA. *Simulation d'un Réseau de capteur sans fil sous contiki" La localisation d'un mobile"*. Mémoire de Master. Université A/Mira de Béjaïa. 2016.

- [10] A.Belfkih, B.Sadeg, C. Duvallet, L. Amanton. *Les bases de données dans les réseaux de capteurs sans fil*. Université du Havre. 2014.
- [11] N.Ickes, E. Shih, S-H. Cho and R. Min. *Physical Layer Driven Protocol and Algorithm Design for Energy-Efficient Wireless Sensor Networks*, In Proceedings of the ACM MOMICOM Conference. 2001.
- [12] Ian F. Akyildiz, M-C. Vuran. *Wireless Sensor Networks*. Livres. 2010.
- [13] M.Messai, *Sécurité dans les Réseaux de Capteurs Sans-Fil*. Mémoire de Magistère . Université Abderrahmane Mira de Bejaia. 2008.
- [14] Anna Hac. *Wireless Sensor Network Designs*. Livres. 2003.
- [15] N.Mohana Priya, G.Brindha. *A Survey on Routing Protocols in Wireless Sensor Networks*. International Conference on Computer Applications. 2016.
- [16] Rajesh Chaudhary, Sonia Vatta. *A tutorial of routing protocols in wireless sensor networks*. International Journal of Computer Science and Mobile Computing. 2014.
- [17] NADIA BOUNEGTA. *Approche distribuée pour la sécurité d'un réseau de capteurs sans fil (RCSF)* . Mémoire de Magistère. Université de Bechar. 2010.
- [18] CHAFIK, Abdellatif. *Architecture de réseau de capteurs pour la surveillance de grands systèmes physiques à mobilité cyclique*. Thèse de doctorat. 2014.
- [19] J.BELLAL, A.MOUSSAOUI. *Routage Hiérarchique avec Optimisation de Consommation d'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans-Fil*. Mémoire de Master. Université A/Mira de Béjaïa. 2015-2016.
- [20] B.SAHRAOUI. *Étude d'un protocole de routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil*. Mémoire de Master, Université Tlemcen. 2013.
- [21] W.Heinzelman. *Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks*. IEEE. 2000.
- [22] H.OUDANI, S.KRIT et LAHOUCINE EL MAIMOUNI. *COMBINING LEACH, PEGASIS HIERARCHICAL PROTOCOL AND CONSTRAINT DISTANCE TO INCREASE THE LIFETIME OF WIRELESS SENSOR NETWORKS*. (IJMPERD). 2018.
- [23] E. Kumar, S.M.Kusuma, B.P.Kumar. *Fire-LEACH : A Novel Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks based on Firefly Algorithm*. International Journal of Computer Science : Theory and Application. 2014.
- [24] A.Mehmood, J.Mauri, M.Noman, H.Song. *Improvement of the wireless sensor network lifetime using LEACH with vice-cluster head*. Ad Hoc Sens. Wirel. Networks, 28(1-2), 1-17. 2015.

- [25] Xin –She Yang, Houbing Song. *Nature- Inspired Metaheuristic Algorithms* . Luniver Press. 2008.
- [26] N.Sarma, Mahesh. *Energy Efficient Clustering using Jumper Firefly Algorithm in Wireless Sensor Networks*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). Volume 10 Number 11. 2014.
- [27] F.Sanhaji, H.Satori, K.Satori. *Cluster Head Selection based on Neural Networks in Wireless Sensor Networks* . IEEE. 2019.
- [28] F.Sanhaji, H.Satori, K.Satori. *Clustering Based on Neural Networks in Wireless Sensor Networks* . International Conference on Computing and Wireless Communication Systems ICCWCS'17, Larache, Morocco. 2017.
- [29] Asha Ahlawat. *An EXTENDED VICE-CLUSTER SELECTION APPROACH TO IMPROVE V LEACH PROTOCOL IN WSN*. IEEE. 2013.
- [30] M.Bani Yassein, A.Al-zou'bi, Y. Khamayseh, W. Mardini. *Improvement on LEACH Protocol of Wireless Sensor Network (VLEACH)* . International Journal of Digital Content Technology and its Applications Volume 3. Number 2. 2009.
- [31] O.Younis ,S.Fahmy. *HEED : A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks* . IEEE. 2004.
- [32] S.Elhabyan, M.Yagoub. *PSO-HC : Particle Swarm Optimization Protocol for Hierarchical Clustering in Wireless Sensor Networks* . IEEE International Conference on Collaborative Computing : Networking. Applications and Worksharing. 2014.
- [33] YUAN ZHOU, NING WANG , WEI XIANG. *Clustering Hierarchy Protocol in Wireless Sensor Networks Using an Improved PSO Algorithm*. IEEE. 2016.
- [34] Hamzarul Alif Hamzah , Norah Tuah, Kit Guan Lim , Min Keng Tan , Lei Zhu , Kenneth Tze Kin Teo. *Data Transmission in Wireless Sensor Network with Greedy Function and Particle Swarm Optimization*. IEEE. 2019.
- [35] Stephanie Lindsey Cauligi S. Raghavendra. *PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems*. Conférence de l'IEEE sur l'aérospatiale. 2002.
- [36] Sanjay Waware, Nisha Sarwade, Pallavi Gangurde. *A Review of Power Efficient Hierarchical Routing Protocols in Wireless Sensor Networks*. IJERA. 2012.
- [37] V.Chandrasekaran, A.Shanmugam. *A review on hierarchical cluster based routing in wireless sensor networks*. Journal of Global Research in Computer Science. Volume 3(2). 2012.

- [38] Guillaume Cleuziou. *Une méthode de classification non-supervisée pour l'apprentissage de règles et la recherche d'information*. Thèse de Doctorat. Université d'Orléans. 2004.
- [39] W.keng Liao, Y. Liu, A. Choudhar. *A Grid-based Clustering Algorithm using Adaptive Mesh Refinement*. Appears in the 7th Workshop on Mining Scientific and Engineering Datasets. 2004.
- [40] JB MacQueen. *SOME METHODS FOR CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF MULTIVARIATE OBSERVATIONS*. Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. pp. 281-297. University of California Press. 1967.
- [41] Ludovic Lebart, Alain Morineau et Marie Piron. *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. Paris. page 149. 1995.
- [42] P.J Rousseeuw . *Silhouettes :a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis*. Journal of Computational and Applied Mathematics. 1987.
- [43] W.Heinzelman, A.Chandrakasan, H.Balakrishnan. *An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks*. IEEE Trans on Wireless Communications. 2002.
- [44] SHANNON. *Introduction to the art and science of simulation*. IEEE Computer Society Press Vol 1 : 7-14. 1998.
- [45] M. Lehsaini, Benmahdi. *An improved k-means cluster-based routing scheme for wireless sensor networks*. International Symposium on Programming and Systems (ISPS) (pp. 1-6). IEEE. 2018.
- [46] SOLAIMAN Basma. *Energy optimization in wireless sensor networks using a hybrid k-means pso clustering algorithm*. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences. Vol. 24, No 4. p. 2679-2695. 2016.