

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية

الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par : Haddam Hadjer & Chellali Wissam

Sujet

Clustering et efficacité énergétique dans les réseaux WBAN

Soutenu publiquement, le 15/06/2023, devant le jury composé de :

M. ABDELMALEK Abdelhafid	MCB	Université de Tlemcen	Président
Mme GOURARI Fatima Zohra	MCB	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme BENLALDJ Lamia	MAA	Université de Tlemcen	Encadrante
M. HADJILA Mourad	MCA	Université de Tlemcen	Co-Encadrant

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, nous voudrions remercier le bon Dieu, Tout-Puissant et miséricordieux, qui nous a donné la volonté, la force et le courage de surmonter toutes les difficultés pour mener à bien ce travail.

À profiter de cette occasion pour exprimer ma sincère gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de mon mémoire.

Nous souhaitons remercier chaleureusement notre encadrante Madame BENEALADJ Lamia et Monsieur HADJILA Mourad pour ses accompagnements, ses conseils avisés et son soutien tout au long de ce processus. Sa vision éclairée, sa disponibilité et sa patience ont grandement enrichi mon travail de recherche et m'ont permis d'atteindre mes objectifs.

Nous tenons également à exprimer ma reconnaissance envers les membres de jury Monsieur ABDELMALEK Abdelhafid et Madame GOURARI Fatima Zohra pour leur engagement et leur expertise. Leurs commentaires constructifs et leurs suggestions précieuses m'ont permis d'améliorer la qualité de mon travail et de le présenter de manière plus rigoureuse et convaincante.

Nous tenons à adresser mes remerciements à tous les enseignants du département des télécommunications et le personnel de la faculté de Technologie de Tlemcen pour m'avoir accordé l'accès à leurs ressources et leur soutien financier. Leur contribution a été essentielle pour mener à bien mes recherches et pour me permettre d'explorer mon sujet de manière approfondie.

Nos remerciements vont également à mes collègues et camarades de classe qui ont partagé leurs idées, leurs connaissances et leur soutien tout au long de ce parcours académique. Leurs discussions stimulantes et leur esprit collaboratif ont été une source d'inspiration et ont contribué à mon développement en tant que chercheur.

Nous tenons à souligner que cette liste de remerciements ne saurait être exhaustive, car de nombreuses personnes ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de mon mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Mon cher père BRAHIM et ma chère mère KHIRIE NOURIA,

Mon grand-mère

Je n'oublierai jamais tes efforts pour moi, et je te remercie pour ta bonne éducation et tes manières.

*Merci pour ton soutien, pour ton amour, pour ta misère. J'espère que je serai une joie pour toi **Mon frères**
HOUSSEN, **Ma sœur adoré SANA** et **Mon neveu MOUHAMED AMINE**
Pour leurs soutiens moraux et leurs conseils précieux tout au long de mes études.*

*Ma meilleure amis **ABDULMOUMEN ZAHRA** pour les jours que nous avons passés ensemble et je
n'oublierai pas mon professeur **NADIA***

Tous mes enseignants et toute la promotion Master II –

Réseaux de Télécommunication 2022 / 2023.

WISSAM

Dédicace

Je Dédie ce travail à

Mes parents

Qui ont été ma source de soutien inébranlable tout au long de ce voyage académique. Leur amour, leur encouragement et leurs sacrifices ont été les piliers de ma réussite. Je vous suis profondément reconnaissant pour leur soutien indéfectible et leur confiance en moi.

Mes frères, AYOUB et LOKMAN

Pour leur précieux soutien, leurs discussions stimulantes et leurs encouragements constants. Leur présence a rendu ce parcours plus agréable et m'ont aidé à surmonter les défis.

Toute ma famille,

Mes amis, FOUZIA, FARAH, IKHLAS, RANIA, MADJDA, WISSAM

À Tous mes enseignants et toute la promotion Master II

-Réseaux de Télécommunication 2020 / 2021-

Pour sa guidance experte, ses conseils précieux et sa patience infinie. Votre expertise et votre mentorat m'ont inspiré à repousser mes limites et à atteindre l'excellence académique.

HADJER

Résumé

Dans cette étude, nous avons proposé de nouveaux protocoles de routage pour les réseaux corporels sans fil (WBAN) en utilisant les techniques de clustering FCM (Fuzzy C-Means), K-Means et K-Medoids. L'objectif était d'améliorer l'efficacité et la performance du routage dans les WBAN. Pour cela, nous avons utilisé la fonction de l'énergie résiduelle pour prendre une décision dynamique concernant le choix du Cluster Head (CH) à chaque tour. L'évaluation des performances de ces protocoles de routage WBAN a été réalisée en effectuant des tests après avoir changé la position du sink (point central de collecte des données). Les critères d'évaluation incluaient la consommation d'énergie, la stabilité et la durée de vie du réseau. Les résultats obtenus ont montré que les nouveaux protocoles de routage basés sur le clustering FCM, K-means et K-medoids avec la fonction de l'énergie résiduelle ont conduit à une amélioration significative des performances du réseau WBAN. La consommation d'énergie a été réduite, la stabilité a été renforcée et la durée de vie du réseau a été prolongée.

Mots clés : réseau WBAN, protocole de routage, clustering, durée de la vie.

Abstract

In this study, we proposed new routing protocols for wireless body area networks (WBAN) using FCM (Fuzzy C-Means), K-Means and K-Medoids clustering techniques. The objective was to improve the efficiency and performance of routing in WBANs. For this, we used the function of the residual energy to make a dynamic decision concerning the choice of the Cluster Head (CH) at each turn. The performance evaluation of these WBAN routing protocols was carried out by performing tests after changing the position of the sink (central point of data collection). Evaluation criteria included power consumption, stability and network lifetime. The results obtained showed that the new routing protocols based on FCM, K-means and K-medoids clustering with the residual energy function led to a significant improvement in the performance of the WBAN network. Power consumption has been reduced, stability has been enhanced, and network life has been extended.

Keywords: WBAN network, routing protocol, clustering, lifetime.

Table des matières

Résumé	III
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	IX
Liste des abréviations	X
Introduction général	1
Chapitre I Réseaux de capteurs sans fil	4
I.1 Introduction	5
I.2 Informations sur les capteurs	5
I.2.1 Nœud de capteur	5
I.2.2 Architecture d'un capteur	6
I.2.4 Les caractéristiques d'un capteur	7
I.3 Réseaux de capteurs sans fil (WSN ou RCSF)	8
I.3.1 Architecture du réseau de capteurs sans fil.....	8
I.3.1.1 Architecture plate Un réseau de capteurs sans-fil	9
I.3.1.2 Architecture hiérarchique Un réseau de capteurs sans-fil	9
I.2.3 Les types de capteurs	10
I.3.2 Caractéristiques de RCSF	12
I.3.3 Domaines d'application	12
I.4. Réseaux de capteurs corporels sans fil (WBAN)	13
I.4.1. Définition.....	13
I.4.2. Applications.....	14
I.4.3. Topologie.....	15
I.4.4. Composants capteurs corporels sans fil (WBAN).....	16
I.4.5. Catégories des nœuds	17
I.4.5.1 Classement selon la base des fonctionnalités	17
I.4.5.2 Classement selon l'implémentation.....	17
I.4.5.3 Classement selon le rôle	17
I.4.6. Standard IEEE 802.15.6	18
I.4.7. Différence entre WSN et WBAN	18
I.4.8. Défis des Réseaux WBAN.....	19

I.5 Conclusion	20
Chapitre II Méthodes de clustering et routage	21
II.1 Introduction	22
II.2 Routage	22
II.2.1 Définition de routage.....	22
II.2.2 Classification de protocoles de routage.....	23
Les caractéristiques réseaux RCSF sont :	23
II.2.2.1 Routage à plat.....	23
II.2.2.2 Routage basé sur la localisation	24
II.2.2.3 Routage hiérarchique.....	24
II.2.3 Classification des protocoles de routage pour réseaux WBAN	24
II.3. Clustering	27
II.3.1 Cluster	27
II.3.2 Cluster Head	27
II.3.3 Station de Base	28
II.3.4 Clustering	28
II.3.5 Méthodes de Clustering.....	29
II.3.5.1 Clustering par partitionnement.....	29
II.3.5.2 Clustering hiérarchique	34
II.3.5.3 Clustering à base de densité	36
II.3.5.4 Clustering basé sur un modèle.....	37
II.4 Conclusion	39
Chapitre III Simulation et résultats	41
III.1 Introduction	42
III.2 Travaux récents	42
III.3 Outils de simulation	43
III.4 Contributions et protocoles proposés	43
III.5 Modèle WBAN utilisé	44
III.5.1 Déploiement des nœuds	44
III.5.2 Scénario de routage entre nœuds	45
III.5.3 Modèle énergétique.....	46
III.6 Implémentation de protocoles	48
III.6.1 Première contribution.....	48

III.6.2 Deuxième contribution.....	53
III.6.3 Troisième contribution (Improved CBFCM).....	57
III.7 Comparaison entre CBFCM et "Improved CBFCM"	59
III.7.1 Energie résiduelle.....	59
III.7.2 Durée de vie du réseau	60
III.7.3 Stabilité du réseau	60
III.8 Conclusion.....	61
Conclusion générale.....	63
Bibliographie	64

Liste des figures

Figure I.1: Exemple d'un capteur de position et vitesse.	6
Figure I.2: Architecture matérielle d'un capteur sans fil.	6
Figure I.3: Schéma représentant quelques types de capteurs.	11
Figure I.4: Architecture d'un réseau de capteurs sans-fil.	8
Figure I.5: Architecture d'un réseau plate de capteurs sans-fil.	9
Figure I.6: Exemple de topologie hiérarchique.	10
Figure I.7: Capteurs de santé.	13
Figure I.8: Capteurs de sécurité.	13
Figure I.9: Réseau WBAN.	14
Figure I.10: Les topologies dans les réseaux WBAN.	15
Figure II.1: Classification des protocoles de routage pour RCSF [3].	23
Figure II.2: Classification de routage pour les réseaux corporels sans fil.	24
Figure II.3: Routage sensible à la température.	25
Figure II.4: Hiérarchie d'un réseau de capteurs sans fil.	28
Figure II.5: Algorithm k-Means.	30
Figure II.6: Algorithm Fuzzy C-Means.	32
Figure II.7: Algorithme K-Medoids.	33
Figure II.8: Partitions emboîtées d'un ensemble X à 6 éléments.	34
Figure II.9 : La distribution des données autour des centres d'amas dans l'algorithme Soustractive Clustering [27].	36
Figure III.1: Localisation des nœuds.	44
Figure III.2: Transmission par CBFCM.	49
Figure III.3: Energie résiduelle consommée par CBFCM.	50
Figure III.4: Nombre de nœuds vivants avec le protocole CBFCM.	50
Figure III.5: Transmission par CBFCM-PN.	51
Figure III.6: Energie résiduelle consommée par CBFCM-PN.	52
Figure III.7: Nombre de nœuds vivants avec le protocole CBFCM-PN.	52

Figure III.8: Transmission par CBKmeans.	54
Figure III.9: Energie résiduelle consommée par CBKmean.	54
Figure III.10: Nombre de nœuds vivants avec le protocole CBKmean.	55
Figure III.11: Transmission par CBKmedoids.....	55
Figure III.12: Energie résiduelle consommée par CBKmedoids.	56
Figure III.13: Nombre de nœuds vivants avec le protocole CBKmedoids.	56
Figure III.14: Transmission par Improved CBFCM.	57
Figure III.15: Energie résiduelle consommée par Improved CBFCM.	58
Figure III.16: Nombre de nœuds vivants avec le protocole Improved CBFCM.	58
Figure III.17: Comparaison des énergies résiduelles consommées par les 2 méthodes.	59
Figure III.18: Comparaison du nombre de nœuds vivants pour les 2 méthodes.....	60
Figure III.19: Epuisement d'énergie du premier et dernier nœud de chaque protocole.	61

Liste des tableaux

Tableau I.1: Les avantages et les inconvénients des topologies dans les réseaux WBAN.	16
Tableau I.2: Différences entre WBAN et RCSF.	18
Tableau III.1: Positions des nœuds selon les axes X et Y.	45
Tableau III.2: Paramètres de simulation.	48

Liste des abréviations

RCSF Réseaux de Capteur Sans Fils

BAN Body Area Network

ADC Analog to Digital Converter

WSN Wireless Sensor Network

WBAN Wireless Sensor Network

CCD Charge Couple Device

MAC Media Access Control

MCV Model-View-Controller

ECG Electrocardiogramme

EMG Electromyographie

EEG Electrocéphalogramme

SN Sensor Node

ISM industrial, science, medicine

HBC communication in the body

UWB ultra-wideband radio

CH Cluster Head

QoS Quality de service

MHRP Novel Mobility Handling Routing

TTRP Trust and Thermal Aware Routing Protocol

MTR A Mobility-Based Temperature-Aware Routing Protocol

LEACH Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

TARA Thermal Aware Routing

CHA Clustering Hierarchique Ascendant

DBSCAN Density Based Spacial clustering of Application

SOM Self Organizing Maps

E-HARP Energy Efficient Harvested Aware Clustering and comparative Routing Protocols

DSCB Dual Sink Approach Using Clustering

CRPBA An Energy Efficiency Routing Protocol

LRPD Designing Light weight QoS Routing Protocol

HDPR Hybrid Data-Centric Routing Protocol

DBSCAN Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise

CLDO Cross-Layer Design for Optimizing Transmission Reliability, Energy Efficiency, and Lifetime

CLRS Cross-Layer Retransmit Strategy

CLOBP Cross-Layer Optimization Based on Prediction

ATT Joint Transmission Power Control and Relay Cooperation

OPTICS Ordering Points To Identify the Clustering Structure

DENCLUE Density-based Clustering

HDBSCAN Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise

NCMD Energy-Efficient and Distributed Network Managemen Cost Minimization

ER-ATTEMPT A New Energy-Efficient Routing Protocol

PCLRP A Priority-Based Cross Layer Routing Protocol

FCM Fuzzy C-Means

CBFCM Clustering Based Fuzzy C-Means

CBKmeans Clustering Based K-Means

CBKmediods Clustering Based Fuzzy K-Medioids

Introduction général

Introduction générale

Les réseaux de capteurs corporels sans fil (Wireless Body Area Networks - WBAN) sont des systèmes de capteurs miniaturisés et sans fil qui sont portés sur ou à l'intérieur du corps humain pour surveiller divers paramètres physiologiques ou environnementaux. Ces capteurs sont devenus capables de communiquer entre eux de manière indépendante, formant ainsi un réseau interconnecté.

La composition d'un WBAN comprend généralement des capteurs corporels tels que des moniteurs de fréquence cardiaque, des capteurs de température, des capteurs de glucose, des accéléromètres, etc. Ces capteurs sont associés à un dispositif de collecte de données, comme un nœud central ou un dispositif portable tel qu'un smartphone. Les capteurs communiquent sans fil avec le dispositif de collecte de données, qui peut ensuite transmettre les informations collectées à un réseau plus large, tel qu'Internet, pour le stockage et l'analyse ultérieure.

Les avantages des WBAN résident dans leur capacité à fournir une surveillance en temps réel des paramètres physiologiques, permettant ainsi le suivi médical continu à distance. Cela peut faciliter le diagnostic précoce des problèmes de santé, la prévention des maladies et la surveillance des patients atteints de maladies chroniques. De plus, les WBAN offrent une grande flexibilité et mobilité, permettant aux utilisateurs de vaquer à leurs activités quotidiennes tout en étant surveillés.

Cependant, les WBAN présentent également certains inconvénients. L'un des défis majeurs de conception est de fournir une livraison de données fiable, car les signaux sans fil peuvent être affectés par des interférences ou des pertes de transmission. De plus, l'amélioration de la durée de vie du réseau est un autre défi, car les capteurs miniaturisés ont une capacité limitée en termes d'alimentation et de stockage d'énergie.

Pour relever ces défis, les protocoles de routage basés sur le mécanisme de clustering sont appropriés dans les applications liées aux WBAN. L'approche de clustering consiste à diviser les capteurs en groupes ou clusters en fonction de leur proximité géographique ou de leurs caractéristiques similaires. Cela permet une gestion plus efficace du réseau et réduit la consommation d'énergie. Parmi les algorithmes de routage basés sur le clustering, on peut citer FCM (Fuzzy C-Means), K-means et K-medoids. Ces algorithmes sont utilisés pour former des clusters et sélectionner des Cluster Heads (CH) dans le réseau. La sélection du CH est basée sur l'énergie résiduelle consommée par chaque capteur, afin de choisir le capteur le plus adapté pour assumer le rôle de CH.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre intitulé « Réseaux de capteurs sans fil – Généralités – », nous présentons des informations sur les capteurs et réseaux de capteurs sans fil (WSN ou RCSF) son architecture, ses caractéristiques et ses domaines d'applications. Nous parlons plus en détail des réseaux de capteurs

corporels sans fil (WBAN) en examinant leurs applications, leur topologie, leurs composants, les catégories de nœuds, le standard IEEE 802.15.6, les différences entre les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et les WBAN, ainsi que les défis auxquels sont confrontés les réseaux WBAN.

Le second chapitre intitulé « Méthode de clustering et routage » est composé de deux parties. Nous présenterons dans la première le concept de protocoles de routage en donnant classification des protocoles de routage pour WSN et WBAN. La seconde partie sera consacrée à la notion de clustering où nous allons donner la définition de cluster et clustering, puis nous aborderons les étapes pour faire du clustering, ainsi que leurs méthodes de clustering.

Le troisième et dernier chapitre sera consacré à l'implémentation des protocoles dédiés au routage dans les réseaux de capteurs corporels où une étude comparative des algorithmes de clustering FCM, K-Means et K-Medoid est réalisée, suivie d'une évaluation des performances de deux protocoles de routage collaboratif WBAN basés sur des clusters ; il s'agit du protocole CBFCM et du protocole "Improved CBFCM".

Ce manuscrit est clôturé par une conclusion générale qui rappelle notre contribution élaborée dans le cadre de ce projet de fin d'études et présente quelques perspectives pour les futurs travaux de recherche.

Chapitre I

Réseaux de capteurs sans fil

– Généralités –

I.1 Introduction

Réseaux de capteurs sans fil Wireless Sensor Network (WSN) en anglais-est fil est un réseau ad hoc d'un grand nombre de nœuds, qui sont des micro-capteurs capables de recueillir et de transmettre des données d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée.

Les progrès réalisés dans ces domaines au cours des dernières décennies la microélectronique et les technologies de communication sans fil permettent une production à un coût raisonnable minuscules capteurs, ce sont de véritables systèmes embarqués. Ces capteurs ont trois fonctions : capturer la valeur des grandeurs physiques, utiliser ces valeurs collectées pour traiter les informations, et passer aux réseaux de capteurs.

Disposer plusieurs capteurs sur le corps humain pour collecter des données physiologiques (température corporelle, tension artérielle, fréquence cardiaque) et transmettre indépendamment à un ou plusieurs transmettre indépendamment à un ou plusieurs points de collecte, formant un réseau dit de corps de capteur sans fil (WBAN). Un réseau de capteurs médicaux sans fil est un ensemble de nœuds (chaque nœud représente un type de capteurs), qui sont placés sur des objets ou des individus en mouvement. Chaque nœud peut communiquer avec d'autres nœuds situés dans sa zone de couverture directement ou via d'autres nœuds, vers ce qu'on appelle des points de collecte "station de base" ou "récepteur". Cette station de base a plus de capacité de stockage et de puissance de traitement plus importante que le capteur. Il peut également agir en tant que contrôleur de réseau et agit parfois comme un lien entre les réseaux utilisateurs et réseaux [1].

Dans ce chapitre est de donner d'abord une vue générale sur les réseaux de capteurs sans fils, en commençant par définir ce que c'est qu'un nœud capteur, nous continuons avec les architectures plates et hiérarchique des RCSF, ainsi que leurs caractéristiques et domaines d'applications. Par la suite, nous mettons l'accent sur les réseaux corporels sans fil WBAN en présentant leurs domaines d'applications médicales et non médicales, topologies utilisées et catégories des nœuds capteurs, se basant sur le standard établi pour normaliser ce type de communication. Nous clôturons ce chapitre par les principaux défis des réseaux WBAN.

I.2 Informations sur les capteurs

I.2.1 Nœud de capteur

Un capteur sans fil (sensor) est un petit appareil électronique capable de mesurer des grandeurs physiques environnementales telles que la température, la lumière, la position et la vitesse (voir la figure I.1) [2]. Et transmettez-le au centre de contrôle via la station de base. Chaque capteur remplit trois fonctions de base

principales, à savoir : l'acquisition de données, le traitement des données et la transmission à la station de base.

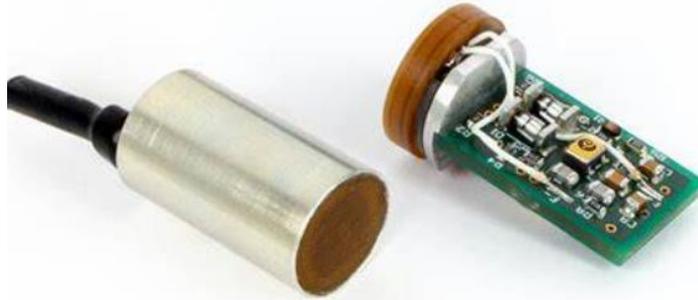


Figure 1I.1: Exemple d'un capteur de position et vitesse

Figure I.1: Exemple d'un capteur de position et vitesse.

I.2.2 Architecture d'un capteur

La figure I.2 représente un nœud capteur composé de plusieurs éléments ou mode. Chaque module correspond à une tâche de capture et d'acquisition spécifique, Traitement ou transmission de données. Il comprend également une alimentation. Chaque capteur se compose de quatre unités : unité d'acquisition de données, unité de traitement, de communication et de contrôle de l'énergie.

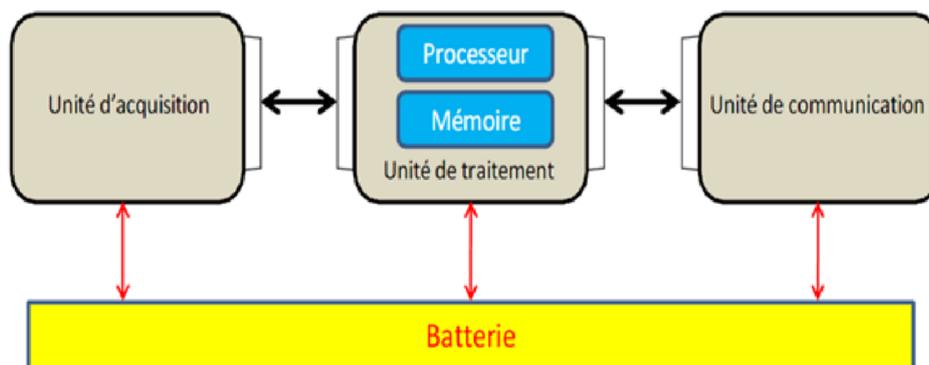


Figure I.2: Architecture matérielle d'un capteur sans fil.

- L'unité d'acquisition

Il peut contenir un ou plusieurs modules de détection. Cette unité joue un rôle échantillonner et convertir le signal physique en un signal électrique (convertir numérique analogique). Les données collectées par l'unité seront unité de traitement.

- **L'unité de traitement**

Il se compose d'un processeur, généralement associé à une petite unité de mémoire. Elle fonctionne avec un système d'exploitation conçu pour les petits capteurs. L'unité dispose de deux interfaces, une pour l'unité d'acquisition et une pour le communisme de communication .Il obtient des informations de l'unité collectées et les envoyer à l'unité de communication. L'unité est également chargée de mise en place d'un protocole de communication permettant aux nœuds de coopérer autres nœuds.

- **L'unité de communication**

L'entité responsable de toutes les transmissions et réceptions de données sur le support communication radio qui permet la communication entre différents nœuds d'un réseau. Elle Peut être optique ou radiofréquence. La communication de type optique est robuste aux interférences électriques. Cependant, en raison de l'impossibilité d'établir une connexion à travers les barrières, ils proposent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre entités communicantes. Unité de transmission de type RF incluse pour modulation, démodulation, filtrage et multiplexage; cela signifie augmenter complexité et coûts de production des minuscules capteurs. Ils sont perturbés champs électromagnétiques, mais a l'avantage de ne pas nécessiter de ligne de vue permanente entre entité communicante.

- **Batterie**

Il alimente les appareils que nous listons et n'est généralement pas rechargeable ou remplaçable. La capacité énergétique limitée au niveau du capteur est une contrainte majeure lors de la conception protocole de réseau de capteurs. Certains capteurs ont des composants supplémentaires tels que des systèmes de position.

I.2.4 Les caractéristiques d'un capteur

Les caractéristiques d'un capteur sont [3] :

- **La sensibilité** : Elle mesure la variation de la grandeur de sortie pour une variation donnée de la grandeur mesurée.
- **La plage de mesure** : Elle correspond aux valeurs minimale et maximale que peut mesurer le capteur.
- **La résolution** : Elle définit la plus petite variation de la grandeur mesurée que le capteur est capable de détecter.
- **La précision** : Elle caractérise l'exactitude de la mesure effectuée par le capteur, c'est-à-dire l'écart entre la mesure réelle et la valeur mesurée.
- **La répétabilité** : Elle indique la capacité du capteur à reproduire la même mesure dans des conditions identiques.
- **La stabilité** : Elle mesure la capacité du capteur à maintenir ses caractéristiques de mesure dans le temps.
- **La rapidité de réponse** : Elle décrit le temps nécessaire au capteur pour répondre à une variation de la grandeur mesurée.

I.3 Réseaux de capteurs sans fil (WSN ou RCSF)

I.3.1 Architecture du réseau de capteurs sans fil

Généralement, l'architecture est constituée d'un contrôleur de réseau, de plusieurs nœuds capteurs et d'une passerelle. Le contrôleur de réseau est responsable de la gestion et de la coordination des nœuds capteurs, de la collecte des données collectées, du contrôle de la qualité des données et de la maintenance du réseau. Les nœuds capteurs sont des dispositifs électroniques miniaturisés, équipés d'un microcontrôleur, de capteurs et d'un module radio, qui permettent de collecter, de traiter et de transmettre les données captées. La passerelle sert de relais entre le réseau de capteurs et le système de traitement des données. Elle effectue principalement des fonctions de collecte, de stockage, de fusion et de transmission des informations captées. Il existe plusieurs types d'architectures de RCSF. Parmi les plus populaires, on trouve l'architecture en étoile, l'architecture en maille et l'architecture en arbre. Chacune de ces architectures a ses propres avantages et inconvénients, et leur choix dépend principalement des caractéristiques du terrain, de la densité du réseau et de l'application.

A l'aide d'une architecture multi sauts, un RCSF transmet les données collectées à un nœud puits (plusieurs à un), voir la figure I.4. Ce dernier est considéré comme un point de collecte et peut transférer les données collectées via internet ou satellite à un ordinateur central "gestionnaire de tâche" pour leur traitement.

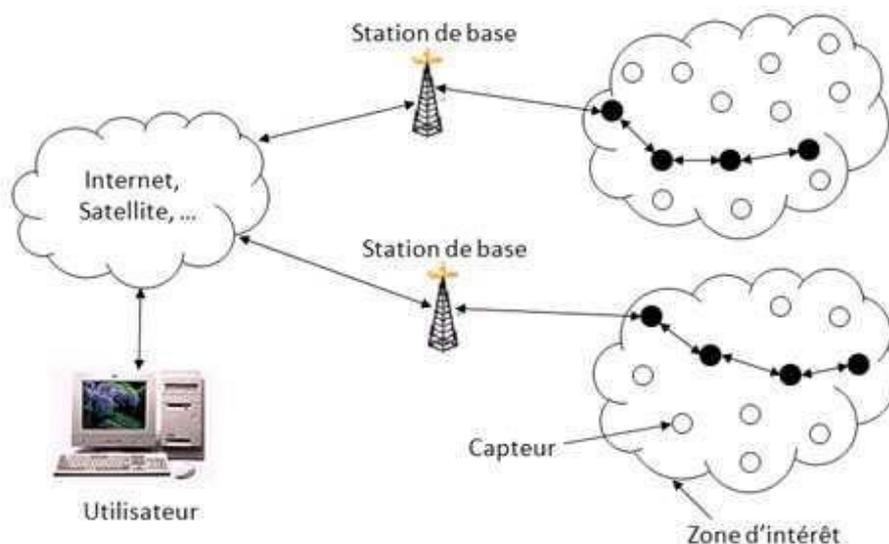


Figure I.3: Architecture d'un réseau de capteurs sans-fil.

Il existe deux types d'architectures pour les réseaux de capteurs sans-fil : l'architecture plate et l'architecture hiérarchique.

I.3.1.1 Architecture plate Un réseau de capteurs sans-fil

Qui est un réseau homogène (voir la figure I.5) ou tous les nœuds sont identiques disposant des mêmes capacités dans la communication et dans le captage d'informations et une station de base différente puisqu'elle joue le rôle de passerelle chargée de transmettre les informations collectées au centre de contrôle [4]. En présence d'un très grand nombre de nœuds capteurs, le passage à l'échelle devient critique. Le routage et le contrôle d'accès au médium (MAC) doivent gérer et organiser les nœuds d'une manière très efficace en termes d'énergie.

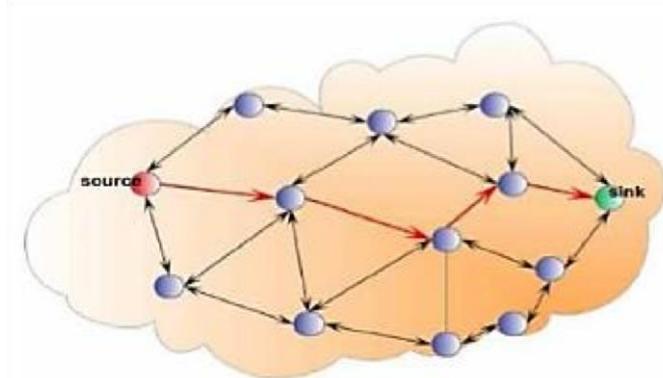


Figure I.4: Architecture d'un réseau plate de capteurs sans-fil.

I.3.1.2 Architecture hiérarchique Un réseau de capteurs sans-fil

C'est un réseau hétérogène où les nœuds peuvent disposer d'une source énergétique, d'une portée de communication ou d'une puissance de calcul différente les uns des autres [5].

L'architecture hiérarchique (voir la figure I.6) est composée de plusieurs couches : une couche de capteurs, une couche de transmission et une couche de point d'accès. Cette architecture sans-fil est influencée par un certain nombre de facteurs et contraintes tels que la tolérance aux fautes, le redimensionnement, les coûts de production, l'environnement, la topologie du réseau, les contraintes matérielles, les médias de transmission et la consommation d'énergie.

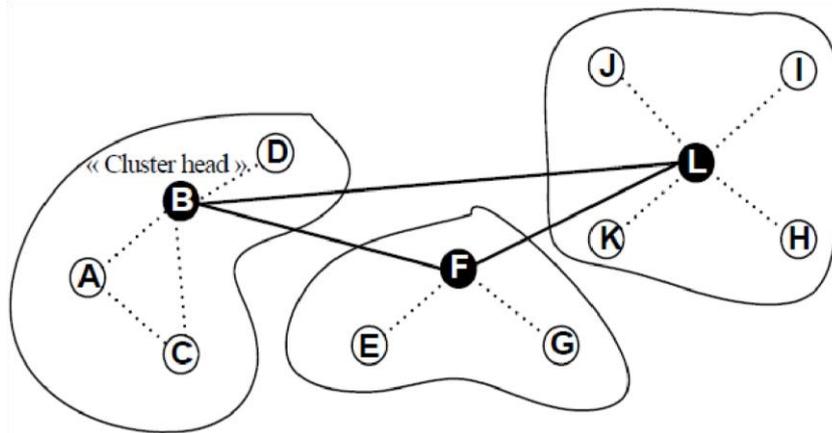


Figure I.5: Exemple de topologie hiérarchique.

I.2.3 Les types de capteurs

Il existe également d'autres types de capteurs (voir la figure I.3) tels que les capteurs de son, de vibration et de champ magnétique, qui sont utilisés dans une large gamme d'applications. Les capteurs modernes sont de plus en plus miniaturisés et dotés de fonctionnalités avancées telles que la connectivité sans fil et les fonctions d'analyse de données intégrées, ce qui leur permet d'être encore plus précis et plus polyvalents. Parmi ces capteurs, on trouve :

I.2.3.1 Capteurs de température

Ils sont utilisés pour mesurer la température des objets ou des environnements. Les thermocouples, les résistances de platine et les thermistances sont des exemples de capteurs de température.

I.2.3.2 Capteurs de mouvement

Ils sont utilisés pour détecter les mouvements des objets ou des personnes. Les capteurs de proximité, les détecteurs de mouvement à infrarouge passif et les accéléromètres sont des capteurs de mouvement.

I.2.3.3 Capteurs de pression

Ils sont utilisés pour mesurer la pression d'un gaz ou d'un liquide. Les jauges de contrainte, les capteurs de pression capacitifs et les capteurs de pression piézoélectriques sont des exemples de capteurs de pression.

I.2.3.4 Capteurs d'humidité

Ils sont utilisés pour mesurer le taux d'humidité dans l'air ou dans un environnement de stockage. Les capteurs capacitifs, les capteurs résistifs et les capteurs de tension sont des exemples de capteurs d'humidité.

I.2.3.5 Capteurs de gaz

Ils sont utilisés pour mesurer la présence et la quantité de gaz dans un environnement.

I.2.3.6 Capteurs de force

Ils sont utilisés pour mesurer la force appliquée à un objet. Les jauges de contrainte, les capteurs de force piézoélectriques et les capteurs de force résistifs sont des exemples de capteurs de force.

I.2.3.7 Capteurs de lumière

Ils sont utilisés pour mesurer la quantité de lumière dans un environnement. Les photorésistances, les cellules photoélectriques et les capteurs CCD (Charge Couple Device) sont des exemples de capteurs de lumière.

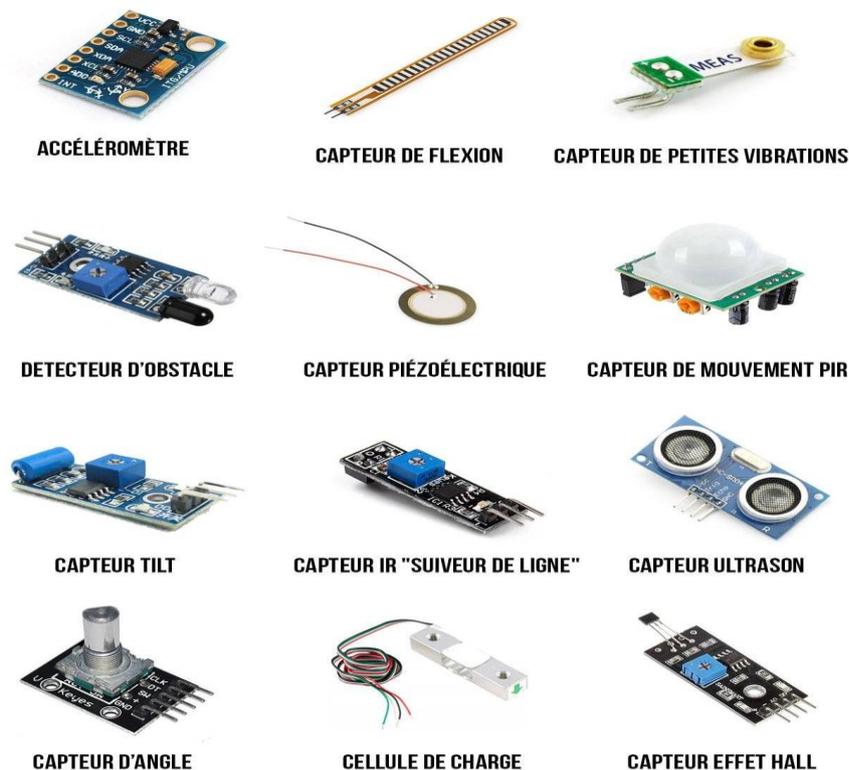


Figure I.6: Schéma représentant quelques types de capteurs.

I.3.2 Caractéristiques de RCSF

Par ailleurs les caractéristiques essentielles des RCSF s'établissent comme suit :

- **Adaptabilité:** Importance des nombres de nœuds qui peut parfois atteindre des millions en vue d'une meilleure granularité de surveillance, avec une polyvalence de remplacement en cas de défaillance.
- **Caractéristiques du trafic interrompu:** L'accès sans fil est perturbé par les interférences inévitables au sein d'un RCSF (Exp : perturbation des liens radio dans un hôpital).
- **Réseaux multi-sauts:** Les RCSF adoptent des communications multi saut en raison des limitations des ressources physiques dues à la miniaturisation des composants électroniques
- **Réduction de la consommation de l'énergie :** La gestion de l'énergie au sein d'un RCSF est limitée du fait que les capteurs sont alimentés par des batteries qui ne peuvent être changées par suite des milieux hostiles défavorables (sachant que le rechargement des batteries est très onéreux et donc très peu rentable d'un point de vue économique).
- **Différents types de déploiements :** Engendrent des conséquences qui diffèrent d'un déploiement à un autre. Le déploiement dans la nature mène à une absence de sécurité physique causée par la présence d'intrus ou de capture de nœuds, le déploiement dans un lieu précis exige une topologie préconfigurée et le déploiement aléatoire demande des algorithmes d'auto organisation.

I.3.3 Domaines d'application

Les réseaux de capteurs sans fil sont l'une des technologies qui changent le monde et notre façon de vivre travail. L'émergence de ces réseaux répond à la demande d'observation, de propagation automatique et de maîtriser des phénomènes physiques et biologiques complexes dans divers domaines:

·Industriel, technique et scientifique : (monitoring de la température, la pression, l'hygrométrie, la luminosité, contrôle qualité d'une chaîne de fabrication, etc).

·Ecologie et environnement : (surveillance de la radioactivité, dépolluants tels que les HAP, les métaux lourds, ou de l'ozone ou du NO₂, du risque sismique ou d'explosion d'un volcan, ou encore le suivi étendu d'émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre).

·Santé : On trouve un exemple dans la figure I.7 (suivi des patients à distance, capteurs sur le corps humain, veille éco-épidémiologique et épidémiologique).



Figure I.7: Capteurs de santé.

· Transports : contrôle du trafic routier, urbain, ferroviaire, portuaire, etc., prévention des accidents, optimisations diverses.

· L'automatisation des bâtiments et domotique.

· Gestion d'hôpitaux, etc.

· Sécurité : détection et surveillance d'incendies de forêts, d'avalanches, d'ouragans, de risque de défaillance d'équipement de grande envergure (ex barrage, réseau de digue, réseau routier en cas de tremblement de terre, etc).



Figure 2: Capteurs de sécurité

Figure I.8 : Capteurs de sécurité.

· Usage militaire : déploiement des capteurs pour protéger des terrains militaires ou la périphérie des navires de guerre.

I.4. Réseaux de capteurs corporels sans fil (WBAN)

I.4.1. Définition

Réseau corporel sans fil (WBAN) (voir la figure I.9): un réseau de capteurs corporels sans fil est un réseau de capteurs minuscules portés ou implantés dans le corps humain. Chaque nœud de capteur est généralement capable de détecter une ou plusieurs caractéristiques physiologiques dérivées du corps ou de

son environnement, le capteur stocke les données de mesure, qui sont ensuite transmises sans fil à l'appareil pour être utilisées, le traitement central est appelé serveur personnel [6].

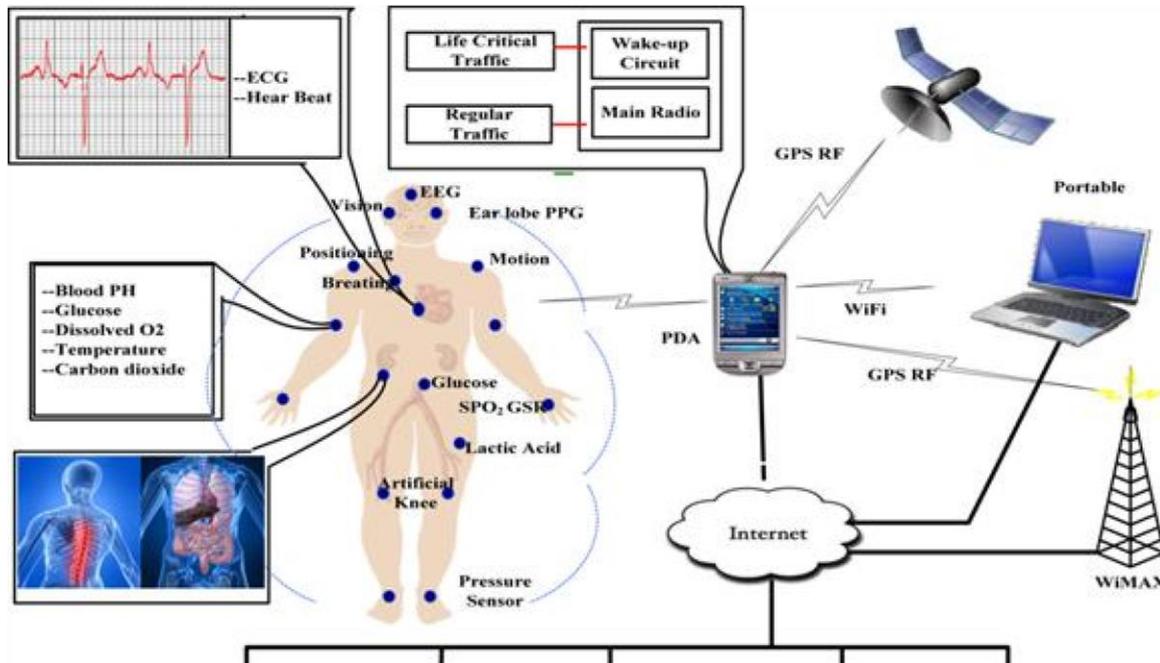


Figure I.9: Réseau WBAN.

I.4.2. Applications

Il existe deux classes d'applications : les applications médicales (classe A) et celles non médicales (classe B). Parmi ces emplacements [7], on trouve :

Traitement médical et diagnostic

- WBAN traite maladies et diagnostics tels que les maladies cardiovasculaires (MCV), le diabète, l'asthme, la maladie de Parkinson, etc.

Plan d'entraînement des athlètes professionnels

- Programme d'entraînement des athlètes professionnels: pendant l'entraînement, le joueur ou l'athlète leurs performances peuvent être observées et étudiées afin qu'elles puissent être testées et basées sur leurs performances performances, ils peuvent choisir.

Sécurité publique et prévention des accidents médicaux

- L'installation de nœuds de capteurs WBAN peut minimiser les erreurs médicales antérieures.

Protection du personnel en uniforme

- Les WBAN peuvent être utilisés par les pompiers, la police ou l'armée, afin de la surveiller dans des environnements dangereux.

Surveillance du sommeil

- Le sommeil est un besoin humain fondamental et important.

I.4.3. Topologie

Nous décrivons les topologies les plus utilisées pour le déploiement des réseaux WBAN. Nous distinguons les topologies suivantes : point-a-point, étoile, maille et arbre. La figure I.10 représente ces quatre topologies.

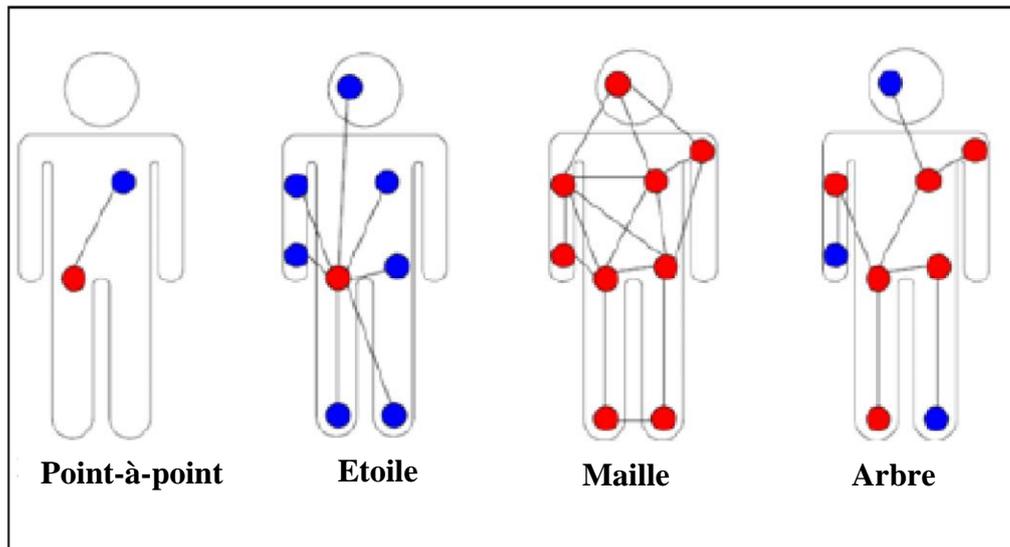


Figure I.10: Les topologies dans les réseaux WBAN.

I.4.3.1 Topologie Point-à-point

C'est la topologie la plus simple dans les réseaux. C'est une connexion directe entre deux nœuds sans aucun autre nœud intermédiaire. Cette topologie est souvent utilisée pour les communications sécurisées, mais peut être coûteuse en termes de matériel et de maintenance.

I.4.3.2 Topologie Etoile

La topologie en étoile est une conception centralisée où les nœuds sont connectés à un nœud central, également appelé hub ou concentrateur. Cette topologie est facile à installer et à gérer, mais peut être vulnérable en cas de panne du nœud central.

I.4.3.3 Topologie en Maille

La topologie en maille crée une grille de connexions où chaque nœud est relié à ses voisins. Cette topologie est résiliente et fiable car les nœuds peuvent continuer à communiquer en cas de dysfonctionnement d'un nœud. Cependant, cette topologie nécessite plus de nœuds et de câblage, ce qui peut augmenter les coûts de déploiement [8].

I.4.3.4 Topologie en Arbre

La topologie en arbre est une extension de la topologie en étoile où les nœuds sont connectés à des nœuds de niveau supérieur, créant une structure d'arbre. Cette topologie est utile pour les réseaux de grande envergure car elle est extensible et permet une gestion centrale. Cependant, la mise en place d'une telle topologie peut également être coûteuse. Elle présente une bonne tolérance aux fautes, une bonne couverture, une bande passante élevée et une faible latence. Mais toutefois, les nœuds pères peuvent consommer beaucoup d'énergie [8]. Le Tableau I.1 résume les avantages et les inconvénients de chacune des topologies décrites ci-dessus.

Tableau I.1: Les avantages et les inconvénients des topologies dans les réseaux WBAN.

Topologie	Avantages	Inconvénients
Point-à-point	-Simplicité -Faible latence -Débit élevé	-Fonctionnalités limitées -Faible couverture
Etoile	-Simplicité -Faible consommation d'énergie -Faible latence -Bande passante élevée	-Vulnérabilité du nœud central
Maille	-Redondance -Tolérance aux fautes -Bonne couverture	-Consommation d'énergie importante -Latence élevée
Arbre	-Bonne tolérance aux fautes -Bonne couverture -Faible latence -Bande passante élevée	- Consommation d'énergie des nœuds pères

I.4.4. Composants capteurs corporels sans fil (WBAN)

I.4.4.1 Capteurs

Ce sont des biocapteurs qui collectent des informations correspondant à activité physique ou mouvement corporel d'une personne. Ils sont incorporés dans le capteur pour capturer des données du monde réel, devrait consommer le moins d'énergie possible et être équipé de Modes veille et réveil pour que le matériel fonctionne efficacement.

I.4.4.2 Communication de données

La communication sans fil est la principale source de transmission, mais doit fonctionner dans des bandes de fréquences qui tolèrent les interférences et ne se chevauchent pas fréquence pendant le fonctionnement en temps réel.

I.4.4.3 Sécurité

Les protocoles WBAN doivent être très sécurisés, car ces données doivent passer Système Réseaux de capteurs corporels sans fil à distance avec cryptage fort.

I.4.4.4 Mécanisme de handover

Il est également souhaitable d'avoir un mécanisme de transfert dans le système WBAN utilise une passerelle ou un routeur dans les situations où les nœuds ne sont pas surchargés.

I.4.4.5 Antenne

Les antennes sont utilisées pour transmettre et recevoir les signaux sans fil. Ils peuvent être internes ou externes, selon les exigences de l'application.

I.4.4.6 Nœud passerelle

Le composant de passerelle doit être conçu pour interagir avec le réseau sans fil systèmes médicaux dotés d'algorithmes avancés mettant en œuvre des techniques d'apprentissage automatique et en profondeur pour que les données puissent être captées et retransmises.

I.4.4.7 Mécanisme de sauvegarde

Tout système WBAN doit disposer d'un système de secours pour déclencher une alarme en cas de niveau bas.

I.4.5. Catégories des nœuds

Le classement des nœuds opérants dans les WBAN d'après leurs fonctionnalités, implémentation et rôles.

I.4.5.1 Classement selon la base des fonctionnalités

Les nœuds du WBAN sont les types suivants :

- a. **Unité de contrôle du corps** : Elle rassemble toutes les informations des capteurs et des actionneurs fonctionnant sur le corps dans le cadre du système WBAN.
- b. **Capteurs** : Les applications WBAN vont des applications médicales aux applications non médicales. Selon les circonstances, différents capteurs sont disponibles, portables ou implantables pour transmettre des signaux physiologiques.
 - **Capteurs portables**: Le but principal des capteurs portables est de collecter différents types de données physiologiques et de mouvement du patient pour le suivi médical à distance des patients. Les capteurs portables sont utilisés dans les applications de diagnostic et de surveillance.
 - **Capteurs implantables** : Ces nœuds sont conçus pour être implantés dans le corps humain. Ils peuvent être utilisés pour surveiller en continu des paramètres médicaux, fournir un traitement ciblé ou détecter des anomalies. Les nœuds implantables sont généralement utilisés dans des applications médicales avancées et nécessitent une intervention chirurgicale pour être implantés.
 - **Actionneur** : La tâche principale de l'exécuteur est d'interagir avec l'utilisateur lors de la réception de données capteur. Il fournit une rétroaction au réseau sur la base de ces données.

I.4.5.2 Classement selon l'implémentation

Les nœuds du WBAN sont classés comme suit :

- a. **Nœud implanté**: Nœud implanté dans le corps humain, qui peut se trouver directement sous la peau ou les tissus corporels.
- b. **Nœud de surface du corps** :
nœuds qui sont principalement installés sur la surface corporelle du patient.
- c. **Nœud externe**: Nœud qui n'a pas de contact direct avec le corps mais il est placé à une distance de 5 à 10 cm de celui-ci.

I.4.5.3 Classement selon le rôle

Sur la base du rôle, les nœuds du WBAN peuvent être classés comme suit [9]:

- a. **Nœud coordinateur** : Agit comme une passerelle vers le monde extérieur, en se connectant à une autre coordinateur WBAN ou un point d'accès.
- b. **Nœud terminal** : Exécute certaines fonctions prédéfinies dans le WBAN.
- c. **Nœud relais**: Nœuds intermédiaires entre nœuds parent et enfants.

I.4.6. Standard IEEE 802.15.6

Cette norme à courte portée est utilisée par des objets ou des équipements ultra-bas. Pour consommation, placement sur ou près de corps humain. Il permet un débit maximal 10 Mbit/s. la norme allie sécurité, fiabilité, qualité de service, faible de consommation d'énergie et protection antibrouillage, ce qui le rend adaptez-le aux applications de réseau sans fil multi-corps (WBAN). La norme IEEE 802.15.6 définit une couche MAC et trois couches physiques différent disponible en fonction d'application envisagée. NB couche physique (NB est bande étoile) permet dans les bandes ISM (industrielle, science, médecine) a des débits allant jusqu' à 500 Kbits/s. La couche physique UWB est basée sur la technologie radio ultra-large bande (UWB), pour c'est ce qu'on appelle la couche physique UWB. Il permet des débits 10 Mbit/s les bondes de fréquences se situent autour de 4GHz et 8GHz.

Enfin, la couche physique HBC (HC pour communication dans le corps) inspirée des normes de communication en champ proche et fonctionne dans les bandes 16MHz et 27 MHz.

I.4.7. Différence entre WSN et WBAN

Il est présenté au Tableau I.2 les différents facteurs entre WBAN et le WSN [8]:

Tableau I.2: Différences entre WBAN et RCSF.

Réseau \ Facteur	WBAN	WSN
Déploiement	Sur le corps humain	Dans des endroits qui ne sont pas facilement accessibles
Densité	Pas dense	Dense
Débit	Actions périodiques	Actions à des intervalles irréguliers
Latence	Facilement accessibles, temps de latence réduit	Difficilement accessibles, temps de latence élevé
Mobilité des nœuds	Nœuds mobiles	Nœuds stationnaires

I.4.7.1 Déploiement et densité

Le nombre des nœuds capteurs déployés par l'utilisateur dépend de différents facteurs. Typiquement, les nœuds dans les WBAN sont placés stratégiquement sur le corps humain, ou sont cachés sous les vêtements. Les réseaux WBAN n'emploient pas de nœuds redondants pour faire face à divers types de défaillances. Par conséquent, le nombre de nœuds dans les réseaux WBAN n'est pas dense. Par contre,

dans les réseaux RCSF, les nœuds sont souvent déployés dans des endroits qui ne sont pas facilement accessibles, ce qui exige de placer un nombre plus élevé de nœuds pour établir une architecture de redondance afin de contourner les problèmes de défaillance des nœuds.

I.4.7.2 Débit de données

La plupart des réseaux RCSF sont utilisés pour la surveillance des événements, où ces événements peuvent se produire à des intervalles irréguliers. Par contre les réseaux WBAN sont utilisés pour mesurer des activités physiologiques et des actions qui peuvent se produire d'une manière plus périodique et peut donner lieu à des flux de données présentant des taux relativement stables.

I.4.7.3 Latence

Dans le cas des réseaux WBAN, le remplacement des batteries pour les capteurs est beaucoup plus facile par rapport au cas dans les réseaux RCSF dont les nœuds peuvent être physiquement inaccessibles après le déploiement. Par conséquent, il peut être nécessaire de maximiser la durée de vie des batteries dans un réseau RCSF. Le temps de latence dans les WBAN est plus petit par rapport au temps de latence dans les RCSF à cause de nombre des sauts réduits.

I.4.7.4 Mobilité

Dans le cas des réseaux WBAN, les personnes portant des capteurs peuvent se déplacer et par conséquent les nœuds capteurs sont des nœuds mobiles contrairement aux nœuds RCSF qui sont habituellement considérés comme des nœuds stationnaires.

I.4.8. Défis des Réseaux WBAN

La technologie de réseau de capteurs médicaux WBAN est en plein essor et fait face à de nombreux défis dans la phase de mise en œuvre et de mise en œuvre. Quelques-uns sont cités ci-dessous [10].

I.4.8.1 Trafic hétérogène

Différents types de capteurs et d'actionneurs existent dans un réseau WBAN, confère une hétérogénéité. Par conséquent, 25 plages de données différentes du contenu audio en temps réel. Le WBAN doit prendre en charge le contenu vidéo ou les signaux continus tels qu'ECG et EMG.

I.4.8.2 Efficacité énergétique

L'un des principaux défis de la mise en œuvre d'un WBAN est l'efficacité énergétique. Étant donné que les capteurs WBAN sont alimentés par de petites piles, la durée de vie des piles est un problème. Doit être pris en compte. La mise en œuvre d'un WBAN économe en énergie peut être Cela peut être réalisé en améliorant la conception des couches physique et MAC, ou par un système de saut de fréquence efficace (saut de fréquence saut unique ou sauts multiples) ou avec un rapport cyclique adaptatif.

I.4.8.3 Défis de l'environnement

Les WBAN subissent une perte de chemin pour de nombreuses raisons, telles que Mouvement postural du corps, mouvement des nœuds, obstacles environnementaux et absorption tissu corporel. En fait, bon nombre de ces problèmes peuvent être résolus en créant des liens de saut. Multiple et en installant des capteurs aux points importants.

I.4.8.4 Sécurité, authentification et confidentialité

Faire en sorte que les communications WBAN comptent protéger en toute sécurité la confidentialité des données, c'est-à-dire les WBAN ne doivent être accessibles qu'aux entités autorisées et confirmer l'authenticité des données entrantes.

I.4.8.5 Qualité de service (QoS)

Selon l'application, la qualité de service QoS dans un réseau WBAN est différente. Pour les patients gravement malades, le système de surveillance doit transmettre des données en temps réel, Sinon, les retards peuvent conduire à une situation désastreuse. Traditionnellement, la QoS inclut la latence, Puissance de transmission, fiabilité et réservation de bande passante.

I.5 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté la description des réseaux de capteurs sans fil en général, puis les réseaux WBAN en particulier. Nous décrivons également certaines des applications WBAN utilisées dans ce domaine, leurs composants, leur topologie et leurs classes de nœuds. Les WBAN continuent de jouer un rôle dans le domaine médical en tant qu'alternative aux soins de santé traditionnelle, et ils doivent pouvoir fonctionner correctement à long terme compte tenu des défis rencontrés.

Dans le chapitre suivant nous allons étudier en particuliers le réseau WBAN en présentant les différents algorithmes utilisés et à développer pour assurer la communication fiable des données.

Chapitre II

Méthodes de clustering et

routage

II.1 Introduction

Dans les réseaux auto-organisables, la clusterisation consiste à diviser le réseau en un ensemble de nœuds géographiquement proches. Elle présente alors une solution intéressante pour simplifier et optimiser les fonctions et les services du réseau. En particulier, elle permet au protocole de routage de fonctionner plus efficacement en réduisant le trafic de contrôle dans le réseau et en simplifiant le processus d'aiguillage des données. Plusieurs algorithmes de clusterisation ont été proposés et évalués. Ces algorithmes ont des caractéristiques différentes et sont conçus pour satisfaire certains objectifs selon le contexte dans lequel la clusterisation est déployée (routage, sécurité, conservation de l'énergie, etc) [11].

En somme, le routage et le clustering sont des techniques essentielles pour la gestion efficace des réseaux de capteurs sans fil. Leur mise en œuvre permet de réduire la consommation d'énergie des capteurs, d'améliorer la qualité de la communication entre les nœuds et de faciliter l'analyse des données collectées.

Nous nous concentrerons dans ce chapitre d'apporter un état de l'art et des méthodes de clustering qui existent dans la littérature. À cet effet, la première partie est consacrée à la classification de ces protocoles est ensuite utilisée pour le routage dans les réseaux de capteurs sans fil surtout dans les réseaux WBAN où certaines limitations sont prises en compte. La deuxième partie traite du concept de clustering, des méthodes d'organisation des nœuds dans les réseaux, et les principaux algorithmes de clustering que leurs avantages et inconvénients.

II.2 Routage

II.2.1 Définition de routage

Le routage est le processus de sélection d'un chemin dans un réseau pour transporter les données d'un expéditeur à un ou plusieurs destinataires. Le routage est une tâche dans une variété de réseaux y compris les réseaux téléphoniques, les web comme internet et les réseaux de transmission. Les propriétés du routage sont essentielles dans un réseau décentralisée car les informations sont partagées entre agents indépendants plutôt que distribuées par une source unique. Pour cela, vous devez bien sûr pouvoir trouver un chemin qui ne consomme pas trop d'énergie et n'est pas trop long. [12]

Pour choisir un protocole de routage, vous devez suivre les restrictions suivantes :

- ✓ La charge du réseau est minimisée.
- ✓ Fournit un support pour la mise en œuvre de communications multipoints fiables.

- ✓ Assurer un routage quasi optimal.
- ✓ Fournir une bonne qualité de service en termes de latence et permettre la tolérance pour assurer le transfert de données lorsque certains nœuds cessent de fonctionner.

II.2.2 Classification de protocoles de routage

Les caractéristiques réseaux RCSF sont :

- Détecter les données de plusieurs sources vers un nœud puits (individuel).
- Beaucoup de redondance, puisque plusieurs capteurs peuvent générer les mêmes données proches du phénomène.
- Des contraintes strictes sur les nœuds capteurs en termes de puissance émise, capacités énergétiques, de traitement et de stockage basé sur la localisation et le routage hiérarchique.

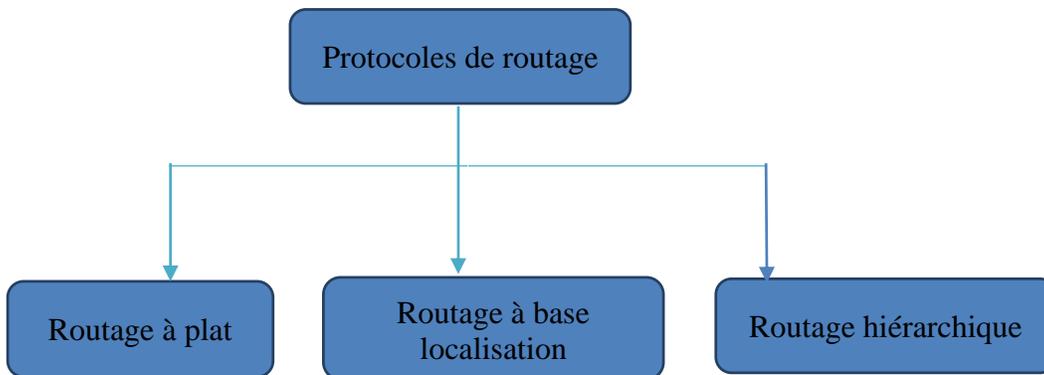


Figure II.1: Classification des protocoles de routage pour RCSF [13].

II.2.2.1 Routage à plat

Les tâches des nœuds sont les mêmes. Le routage à plat c'est la méthode initiale de l'itinéraire, les données dans RCSF qui sont basées sur collaboration de tous les nœuds du réseau.

L'avantage de ces nœuds est leur simplicité qui leur permet d'établir une communication sans aucun coût supplémentaire car chaque nœud ne demande des informations qu'à ses voisins immédiats. L'inconvénient est que comme le trafic doit passer par des nœuds adjacents, leur capacité énergétique s'épuise rapidement.

II.2.2.2 Routage basé sur la localisation

Dans cette stratégie (voir la figure II.1), un système de routage aléatoire est utilisé car il se concentre sur la localisation lorsque les données sont collectées sur courte période de temps. Ce routage consomme en revanche trop d'énergie.

II.2.2.3 Routage hiérarchique

Les clusters sont à la base de ce type de routage. Ainsi, le routeur envoie les données collectées à son responsable régional, qui les transmet ensuite à la destination prochaine. L'avantage de ce type de routage est que les coûts de communication et d'énergie sont réduits. L'échelle de réseau est un inconvénient.

II.2.3 Classification des protocoles de routage pour réseaux WBAN

À l'heure actuelle, la recherche sur les protocoles de routage pour les réseaux WBAN est principalement divisée selon la méthode utilisée [14]. Comme le montre la figure II.2, il y a : le routage basé sur la posture, le routage basé sur la température, le routage inter couche, le routage basé sur la qualité de service et le routage basé sur les clusters.

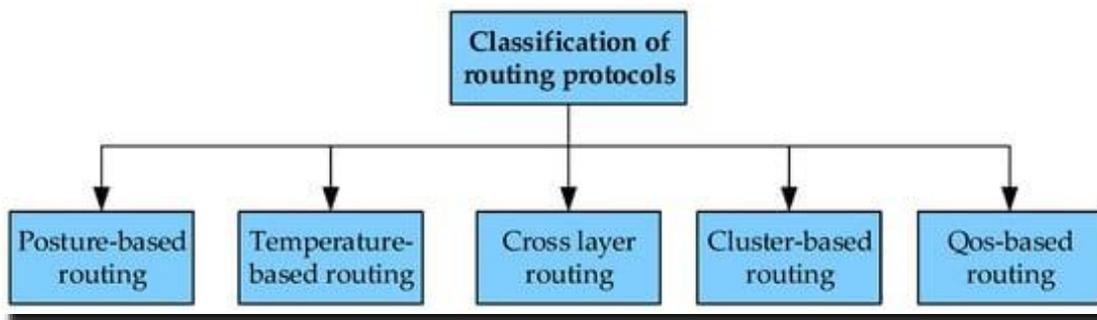


Figure II.2: Classification de routage pour les réseaux corporels sans fil.

II.2.3.1 Le routage basé sur la posture (Posture-Based Routing)

Le routage basé sur la posture est utilisé pour analyser la topologie du réseau du corps humain dans diverses postures dynamiques afin d'établir un chemin rapide et stable. L'analyse des différentes postures est d'une grande importance. De nombreuses expériences ont prouvé que toutes sortes de mouvements du corps humain ont une certaine régularité [15]. Cela peut grandement améliorer le développement du WBAN dynamique utilisé. Dans l'environnement dynamique, le mouvement des membres rend la topologie du réseau bonne ou mauvaise, et produit également un effet d'ombre.

Les solutions existantes ne peuvent être traitées ultérieurement qu'après que la situation se soit produite, ce qui était très passif et avait un retard important. Si la prochaine action est prédite à l'avance dans le créneau horaire actuel, le jugement et le traitement peuvent être effectués à

l'avance, ce qui est très utile pour réduire le délai et améliorer le taux de transmission des données, avec succès [16].

Il existe des protocoles :

- MHRP (Novel Mobility Handling Routing): ce protocole est conçu pour l'acquisition de la fréquence cardiaque.
- NCMD (Energy-Efficient and Distributed Network Management CostMinimization): cet algorithme NCMD est un algorithme d'établissement de liaison efficace et distribué avec des coûts de gestion de réseau minimaux.

II.2.3.2. Le routage basé sur la température (Temperature-Based Routing)

Le routage basé sur la température considère la température des nœuds comme le paramètre principal dans le processus de sélection du chemin. L'objectif principal de cette méthode de routage est d'éviter la montée en température des nœuds, ou de réduire rapidement la température des nœuds à haute température, en évitant les nœuds à haute température et en établissant des chemins appropriés [17]. Le schéma de routage est illustré à la figure II.3. Le routage basé sur la température est la première méthode à étudier, car le problème de sécurité est le premier à être résolu dans l'application du WBAN. Le routage basé sur la température a été largement étudié au début de la période de développement du WBAN, mais ces dernières années, un grand nombre d'études se sont concentrées sur l'énergie, de sorte que le processus de routage basé sur la température a été légèrement réduit.

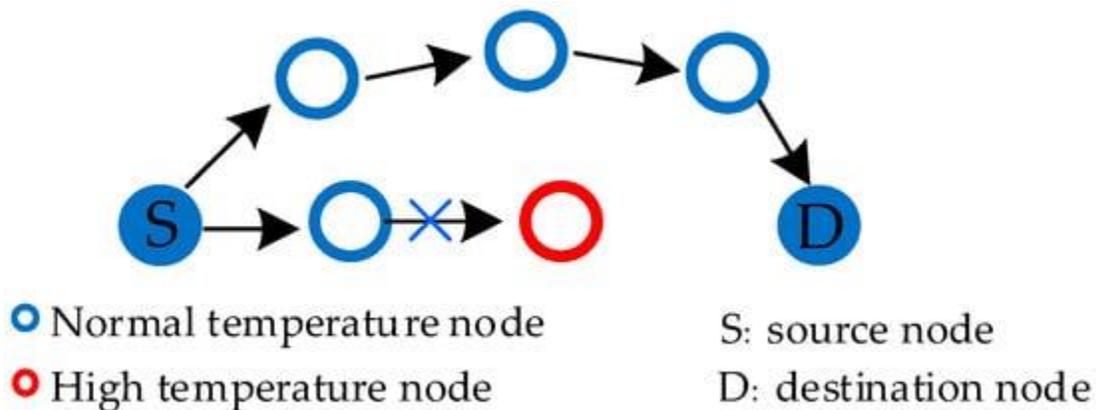


Figure II.3: Routage sensible à la température.

Les protocoles de routage basé sur la température sont :

- TARA (*Thermal-Aware Routing Algorithm*) : Le protocole TARA proposé dans Tang et al. [18] est la première réalisation proposée dans ce domaine et est aussi un ouvrage classique.

Cette méthode prend la température comme seul paramètre de sélection de chemin et choisit le nœud voisin avec la température la plus basse comme saut suivant.

- *ER-ATTEMPT (A New Energy-Efficient Routing Protocol)* : Cet algorithme fait également attention au déploiement des nœuds, les nœuds sont placés de manière ordonnée, en fonction du niveau d'énergie.
- *TTRP (Trust and Thermal Aware Routing Protocol)* : TTRP est un protocole de routage de confiance et est sensible à la chaleur. Ce protocole a pris en compte deux paramètres : la confiance et la température [19].
- *MTR (A Mobility-Based Temperature-Aware Routing Protocol)* : Ce protocole de routage sensible à la température, basé sur la mobilité. Le routage actuel basé sur la température ne tient pas compte des changements de posture et de mobilité humaine.

II.2.3.3. Le protocole de routage inter couche (Cross-Layer Routing)

Le protocole de routage inter couche intègre principalement plusieurs couches de protocole et intègre les avantages de chaque pile de protocoles pour obtenir de meilleures performances réseau. Les expériences ont montré que la méthode inter couche est plus adaptable aux WBAN dynamiques et que la collaboration entre différentes couches peut mieux servir différentes données prioritaires, fournir des services personnalisés pour chaque type de données et obtenir une performance réseau complète avec une faible latence, une haute fiabilité, et une économie d'énergie. Parmi les protocoles de routage inter couche existent :

- (PCLRP A Priority-Based Cross Layer Routing Protocol).
- CLDO (Cross-Layer Design for Optimizing Transmission Reliability, Energy Efficiency, and Lifetime).
- CLRS (Cross-Layer Retransmit Strategy).
- CLOBP (Cross-Layer Optimization Based on Prediction).
- ATT (Joint Transmission Power Control and Relay Cooperation).

II.2.3.4. Le routage basé sur les clusters (Cluster-Based Routing)

Le routage basé sur les clusters est une méthode empruntée à WSN. Le protocole de routage LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) est un travail classique dans WSN, et la méthode de routage basée sur les clusters en découle ; de nombreuses expériences ont prouvé que la méthode de clustering est plus adaptée aux WBAN. Lorsque le nombre de nœuds augmente et que la distance relative entre les nœuds augmente, la méthode de clustering peut assurer la connectivité du réseau, équilibrer la consommation d'énergie du centre et de la périphérie du réseau, s'adapter à la structure topologique dynamique et améliorer la robustesse du réseau. Le protocole de routage de clustering divise les nœuds du réseau en clusters de nœuds. Chaque cluster

se compose de plusieurs nœuds de cluster et d'un chef de cluster. Le chef de cluster est élu par algorithme et est responsable de l'intégration et de la transmission des informations dans le cluster, afin de réduire les frais généraux de communication directe. Parmi les protocoles basés sur les clusters, on cite :

- *DSCB (Dual Sink Approach Using Clustering)* : DSCB suit l'analyse de l'itinéraire du puits en raison de son caractère unique et de ses diverses défaillances. DSCB a été proposé comme nouveau protocole de routage de puits à deux nœuds basé sur le clustering.
- *CRPBA (An Energy Efficiency Routing Protocol)*: Ce protocole fait référence au nœud récepteur en tant que nœud de passerelle.

II.1.3.5. Le routage basé sur QoS (QoS Based Routing)

Le routage basé sur QoS joue un rôle important dans toute technologie d'application, en particulier dans le WBAN à ressources limitées, ce qui représente un énorme défi. Les qualités de service qui doivent être prises en compte dans le WBAN sont la priorité des données, l'efficacité énergétique, la fiabilité des liaisons et la fiabilité de la transmission des données, le faible délai de transmission, la température des nœuds, la sécurité des données, etc. Parmi les protocoles basés sur QoS, on trouve :

- *LRPD (Designing Lightweight QoS Routing Protocol)*: LRPD analyse théoriquement le délai total et le délai total possible du nœud source au nœud destination.
- *HDPR (Hybrid Data-Centric Routing Protocol)* : Le nœud relais utilisé dans ce protocole, n'a que la fonction de réception et d'émission, ce qui réduit la consommation d'énergie.

II.3. Clustering

II.3.1 Cluster

Le cluster est un ensemble de nœud, qui forme l'unité d'organisation d'un réseau de capteurs. La nature dense de ces réseaux exige la décomposition en cellules afin de simplifier les tâches de communication et répondre aux différentes contraintes [20].

II.3.2 Cluster Head

La tête de groupe (CH) est le leader d'un groupe. Les CHs sont souvent tenus d'organiser des activités dans leurs clusters. Ces tâches incluent l'agrégation de données, l'organisation de la communication inter-cluster et intra-cluster. Le chef de cluster est choisi pour jouer ce rôle soit par les autres nœuds ou bien pré-assigné par le concepteur de réseau, il peut être ordinaire comme les autres nœuds ou bien doté de plus d'énergie.

II.3.3 Station de Base

La station de base (BS) se situe au niveau supérieur de la hiérarchie d'un réseau de capteurs et assure la liaison de communication entre le réseau de capteurs et l'utilisateur final. La figure II.4 montre un RCSF hiérarchique où certains capteurs sont déclarés leaders de leur cluster. Le CH est responsable du traitement des données capturées à partir des nœuds membres et de la gestion du routage vers les stations de base.

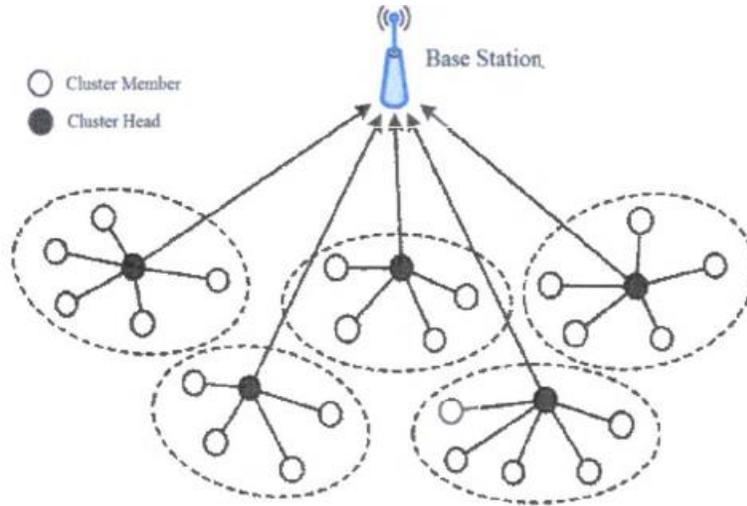


Figure II.4: Hiérarchie d'un réseau de capteurs sans fil.

II.3.4 Clustering

Le clustering est une technique pour partitionner le réseau en groupes (Clusters) avec des différentes formes et tailles, sachant que pour chaque groupe est désigné un leader (CH). Ce dernier communique avec les membres de son groupe et les Cluster Heads des autres groupes. De cette manière, l'opération de clustering contribue considérablement à l'économie de l'énergie, à la réduction de la complexité des protocoles de routage, et à la résistance au facteur d'échelle, en plus de l'agrégation de données qui permet d'éliminer la redondance de données et de n'envoyer que les informations utiles à la station de base [20].

- Etape de clustering :

Après préparation et organisation des données d'un réseau, le clustering se fait en trois étapes:

- Première étape : La préparation des données,
- Deuxième étape : Le choix de l'algorithme de clustering
- Troisième étape : Vérifier et interpréter les résultats. Selon le choix des critères retenus pour l'organisation des données, plusieurs des algorithmes de clustering existent.

II.3.5 Méthodes de Clustering

Il existe une trentaine de méthodes de clustering dans la littérature, et leurs variantes sont contenues dans différentes familles. Nous présenterons quelques méthodes de base de regroupement des données en clusters selon les principes suivants, chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients. On distingue les grandes familles suivantes de méthodes de clustering [21]:

- Les méthodes par partitionnement.
- Les méthodes hiérarchiques.
- Les méthodes à base de densité.
- Les méthodes basées sur un modèle.

II.3.5.1 Clustering par partitionnement

a) Algorithm K-Means

L'algorithme K-means (voir figure II.5) est une méthode de regroupement non supervisée largement utilisée en apprentissage automatique. Voici les étapes de base de l'algorithme K-means :

Initialisation : Sélectionnez le nombre de clusters K et initialisez les centroïdes de manière aléatoire ou en utilisant une méthode spécifique. Chaque centroïde représente le centre d'un cluster.

Attribution des points aux clusters : Pour chaque point de données, calculez la distance entre ce point et tous les centroïdes. Assignez ensuite le point au cluster dont le centroïde est le plus proche, en utilisant une mesure de distance telle que la distance euclidienne.

Mise à jour des centroïdes : Une fois que tous les points ont été attribués à un cluster, recalculez les nouveaux centroïdes pour chaque cluster en prenant la moyenne des positions des points dans ce cluster. Cela déplace le centroïde vers le centre des points qui lui sont assignés.

Répétez les étapes 2 et 3 : Répétez les étapes d'attribution des points aux clusters et de mise à jour des centroïdes jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de changements significatifs dans les positions des centroïdes ou que vous ayez atteint un certain critère d'arrêt prédéfini, comme un nombre maximum d'itérations.

Une fois que l'algorithme K-means converge, vous obtenez les clusters finaux, où chaque point de données est assigné à un cluster spécifique. Les équations principales utilisées dans l'algorithme K-means sont :

Distance euclidienne : La distance entre deux points dans un espace euclidien à N dimensions peut être calculée avec la formule suivante :

$$D(x, y) = \sqrt{((x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_i - y_i)^2)} \quad (\text{II.1})$$

Où (x_1, x_2, \dots, x_n) et (y_1, y_2, \dots, y_n) sont les coordonnées des deux points.

Mise à jour des centroïdes : La nouvelle position d'un centroïde est calculée en prenant la moyenne des positions de tous les points assignés à ce cluster. Si C_i est le i-ème cluster et x_j est le j-ème point assigné à ce cluster, la nouvelle position du centroïde c_i est donnée par :

$$C_i = \frac{1}{|C_i|} \times \sum_{i=0}^n x_i \quad (\text{II.2})$$

Où $|C_i|$ représente le nombre de points assignés au cluster C_i .

Ces équations sont utilisées pour calculer les distances entre les points, attribuer les points aux clusters et mettre à jour les positions des centroïdes à chaque itération de l'algorithme K-means. Il convient de noter que l'algorithme K-means peut avoir différentes variations et améliorations, mais les étapes et les équations de base restent les mêmes.

K-means algorithm

```

K-MEANS (D, k, ε):
1 t = 0
2 Randomly initialize k centroids:  $\mu_1^t, \mu_2^t, \dots, \mu_k^t \in \mathbb{R}^d$ 
3 repeat
4   t ← t + 1
5    $C_j \leftarrow \emptyset$  for all  $j = 1, \dots, k$ 
   // Cluster Assignment Step
6   foreach  $x_j \in D$  do
7      $j^* \leftarrow \operatorname{argmin}_i \{ \|x_j - \mu_i^t\|^2 \}$  // Assign  $x_j$  to closest centroid
8      $C_{j^*} \leftarrow C_{j^*} \cup \{x_j\}$ 
   // Centroid Update Step
9   foreach  $i = 1$  to  $k$  do
10     $\mu_i^t \leftarrow \frac{1}{|C_i|} \sum_{x_j \in C_i} x_j$ 
11 until  $\sum_{i=1}^k \|\mu_i^t - \mu_i^{t-1}\|^2 \leq \epsilon$ 

```

Figure II.5: Algorithm k-Means.

b) Fuzzy C-means clustering

L'algorithme Fuzzy C-means (FCM) (voir la figure II.6), également connu sous le nom de clustering flou qui permet une affectation floue des points de données à plusieurs clusters. Voici les étapes de base de l'algorithme FCM :

Initialisation : Sélectionnez le nombre de clusters K et initialisez les centres des clusters de manière aléatoire ou en utilisant une méthode spécifique. Chaque centre de cluster est représenté par un vecteur de caractéristiques.

Calcul de l'appartenance floue : Calculez la matrice d'appartenance floue U, où chaque élément U (i, j) représente le degré d'appartenance du point de données i au cluster j. Initialisez la matrice d'appartenance avec des valeurs aléatoires entre 0 et 1, en veillant à ce que la somme des degrés d'appartenance pour chaque point soit égale à 1.

Mise à jour des centres des clusters : Calculez les nouveaux centres des clusters en utilisant les degrés d'appartenance flous. La formule de mise à jour est la suivante :

$$V_j = \frac{\sum (U(i,j)^m \times X(i))}{\sum (U(i,j)^m)} \tag{II.3}$$

Où :

V_j : Est le nouveau centre du cluster j

U(i, j) : Est le degré d'appartenance du point i au cluster j

X(i) : Est le vecteur de caractéristiques du point i

m : Est un paramètre de pondération (généralement supérieur à 1) qui contrôle la "flouité" de l'algorithme.

Répétez les étapes 2 et 3 : Répétez les étapes de calcul de l'appartenance floue et de mise à jour des centres des clusters jusqu'à ce que la convergence soit atteinte. La convergence est généralement définie par un critère d'arrêt tel que la variation minimale des centres des clusters ou un nombre maximum d'itérations.

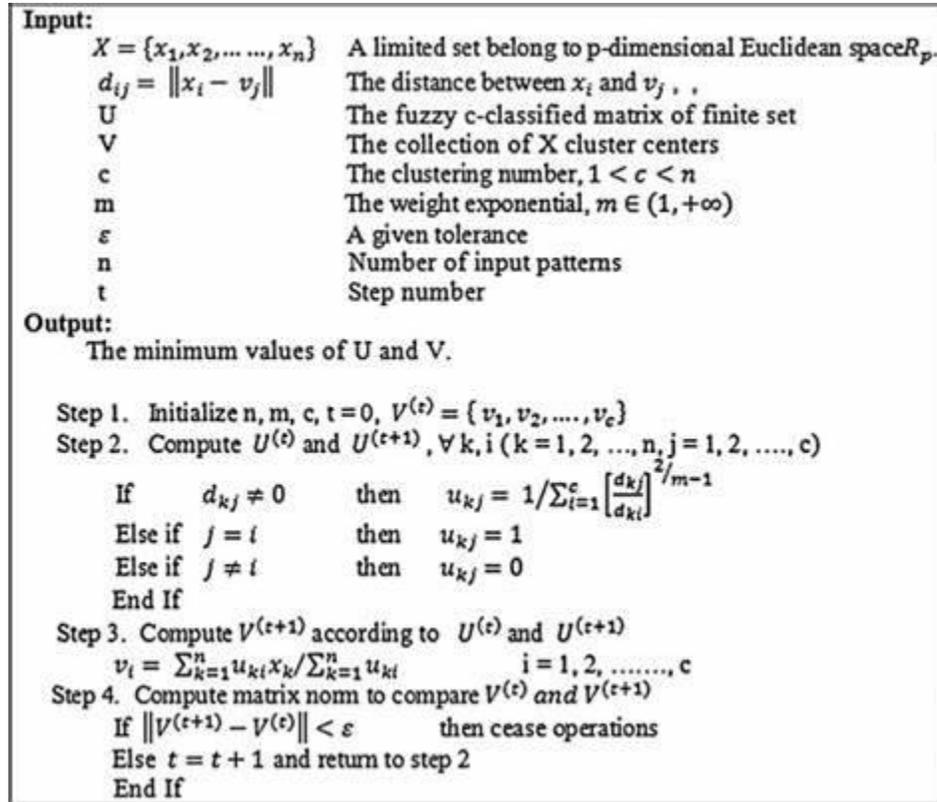


Figure II.6: Algorithm Fuzzy C-Means.

c) Algorithme K-Medoids

K-médoids c'est l'algorithme étudié par cet article est le clustering (voir la figure II.7) basé sur les partitions algorithmique qui se caractérise par une large utilisation, une haute efficacité et facilité de réalisation. Algorithme K-medoids, c'est-à-dire l'algorithme du point central k est principalement destiné à surmonter les défauts de l'algorithme K-means, en particulier sensibilité des valeurs aberrantes (également appelée point de bruit).

Dans l'algorithme K-medoids, d'abord sélectionner k points centraux de regroupement au hasard à partir de n données objets avant de calculer la distance d'autres objets de données à chaque centre de regroupement, puis choisissez celui qui est le plus proche du centre de clustering pour mettre en place une partition initiale, et puis utilisez les méthodes d'itération par ajouter k éléments de données qui diffèrent les uns des autres beaucoup mais sont très similaires aux données de l'ensemble de données dans les données existantes.

- Utiliser ces k éléments de données comme point central d'algorithme de regroupement.
- Diviser toutes les autres données en différents groupes, et calculer la variance entre les données de chaque cluster et point central.

- Remplacez-les par la valeur minimale pour obtenir un nouveau point central. Répétez la procédure jusqu'à ce que le centre du cluster ne change plus pour obtenir des résultats de clustering avant que l'algorithme se termine.

*** L'analyse de l'algorithme amélioré des K-médoïdes**

K-Medoids *Figure 3* est un algorithme de clustering de partition qui doit sélectionner k centres de cluster à partir d'objets de données et établir une partition initial la plus proche du centre de regroupement pour d'autres données avant d'itérer et de déplacer les centres de clustering continuellement jusqu'à ce qu'une partition optimale soit atteinte. En raison du caractère aléatoire de la valeur K et la sélection initiale du regroupement centres, l'efficacité et la précision de celui-ci est très faible. L'algorithme K-medoids amélioré qui ajoute une valeur k sous conditions de contrainte en tant que centres de regroupement et seuls besoins une itération pour obtenir des résultats de clustering peut non seulement résoudre le caractère aléatoire de la sélection du centre de regroupement, mais peut également améliorer son efficacité vis-à-vis des données complexes à atteindre.

Require: K , number of clusters; D , a data set of N points
Ensure: A set of K clusters

- 1: Arbitrarily choose K points in D as initial representative points.
- 2: **repeat**
- 3: **for** each non-representative point p in D **do**
- 4: find the nearest representative point and assign p to the corresponding cluster.
- 5: **end for**
- 6: randomly select a non-representative point p_{rand} ;
- 7: compute the overall cost C of swapping a representative point p_i with p_{rand} ;
- 8: **if** $C < 0$ **then**
- 9: swap p_j with p_{rand} to form a new set of K representative points.
- 10: **end if**
- 11: **until** stop-iteration criteria satisfied
- 12: **return** clustering result.

Figure II.7: Algorithme K-Medoids.

***Avantages et inconvénients de la méthode de partitionnement**

Les algorithmes basés sur le principe du partitionnement des données présentent des avantages. Outre les exigences de vitesse et de faible taille, ils sont également faciles à mettre en

œuvre. Par conséquent, ils conviennent aux grandes bases de données en choisissant une fonction distance. Comme toute méthode de programmation, ces algorithmes ont des inconvénients [21].

- Les conditions d'arrêt de l'exécution de l'algorithme doivent être déterminées au préalable par l'utilisateur (nombre d'itérations prédéfini).
- Ces algorithmes sont influencés par des paramètres choisis au hasard dans la partition initiale (nombre de clusters k).

II.3.5.2 Clustering hiérarchique

Une approche hiérarchique se manifeste comme un continuum de partitions imbriquées. Elle consiste à calculer une matrice représentant les distances mutuelles entre les points à classer, puis, selon le type de hiérarchie choisie (ascendante ou descendante), on suppose chaque individu comme un cluster et à chaque étape, on fusionne le plus proche des deux clusters jusqu'à ce qu'un seul cluster soit obtenu, ou on fait l'inverse. Nous traitons l'ensemble de données comme un grand cluster et le divisons en deux clusters "descendants" de sorte que la distance entre les deux clusters soit aussi grande que possible jusqu'à ce qu'il ne reste que le cluster contenant un seul individu [22]. Le résultat de cette approche est un arbre partitionné continu, appelé dendrogramme, comme le montre la figure II.8:

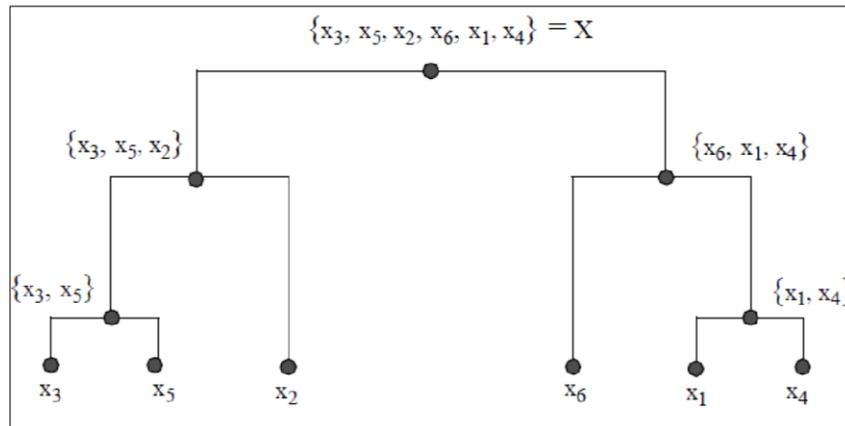


Figure II.8: Partitions emboîtées d'un ensemble X à 6 éléments.

a. L'algorithme hiérarchique ascendant

L'algorithme hiérarchique ascendant est décrit dans les étapes suivantes [23] :
 Au départ, nous avons n objets à classer.

1. Associez chaque objet à classer à un nouveau cluster.

2. Calculez la matrice de distance qui sépare tous les clusters par paires.
3. Trouvez les deux clusters les plus proches.
4. Fusionnez les deux clusters les plus proches dans un nouveau cluster.
5. Mettez à jour la matrice de distance.
6. Répétez les étapes 3 à 5 jusqu'à ce que tous les clusters soient regroupés.

Selon la manière dont les clusters sont fusionnés, plusieurs algorithmes ont été implémentés.

Les algorithmes les plus utilisés dans la plupart des méthodes de hiérarchie ascendante sont l'algorithme de lien simple ou de saut minimum (single link), l'algorithme de lien ou de diamètre complet ou maximum (full link), l'algorithme de lien moyen (averagelink).

- Dans l'algorithme de lien simple, la distance entre deux clusters est le minimum des distances entre toutes les paires d'objets, l'un du premier cluster et l'autre du second cluster.
- Dans l'algorithme de lien complet, la distance entre deux clusters est le maximum des distances entre toutes les paires d'objets.
- Dans l'algorithme de lien moyen, la distance entre deux clusters est la moyenne des distances entre toutes les paires d'objets, l'un du premier cluster et l'autre du second cluster [24].

b. L'algorithme Soustractive Clustering (SC)

Cette technique peut être appliquée lorsque le nombre de centres de distribution de données n'est pas connu. La méthode de classification soustractive est une extension de la méthode de classification proposée par Yager. Il suppose que chaque point de données est un centre potentiel d'un cluster et calcule le potentiel de chaque point de données en mesurant la densité des points de données qui l'entourent [25].

L'algorithme sélectionne d'abord le point de données avec le potentiel le plus élevé comme centre du cluster, puis extrait les points de données près du premier centre du cluster (déterminé par le rayon), puis calcule le centre suivant, et ainsi de suite [26]. L'algorithme fonctionne comme suit:

1. Choisir le point de donnée avec le plus grand potentiel d'être le centre du premier groupe.
2. Évincer tous les points dans le voisinage du 1^{er} centre de l'amas (déterminé par le rayon).
3. Déterminer le prochain centre.
4. Itérer le processus jusqu'à ce que toutes les données soient dans un rayon du centre d'un amas.

Nous pourrions dire que l'algorithme SC réduit la complexité de calcul et donne une répartition des centres de cluster en fonction de la mesure de densité ainsi que du rayon (voir figure II.9) ,sachant que chaque centre est un point de données avec le plus grand potentiel.

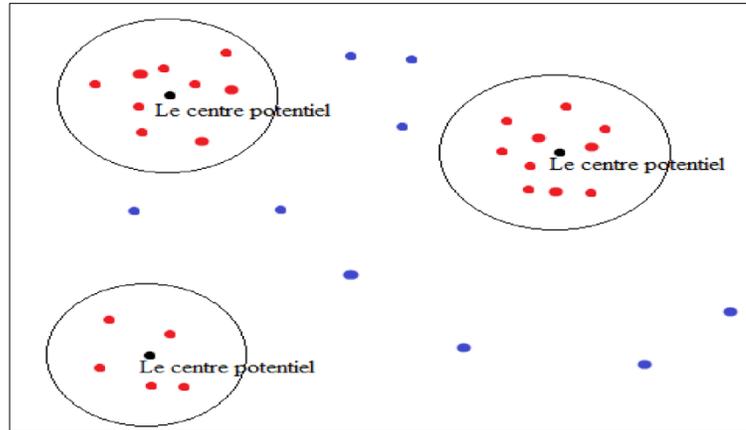


Figure II.9 : La distribution des données autour des centres d'amas dans l'algorithme Soustractive Clustering [26].

II.3.5.3 Clustering à base de densité

Le clustering à base de densité est une technique de clustering qui permet de regrouper des points de données en fonction de leur densité dans l'espace des données. Contrairement aux méthodes de clustering traditionnelles, qui supposent que les données sont réparties en groupes sphériques, il est capable de trouver des groupes de formes arbitraires et peut également détecter les points de données qui ne font partie d'aucun groupe.

Il existe plusieurs techniques de clustering à base de densité. Voici quelques-unes des techniques les plus populaires :

- DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) : Il s'agit de l'algorithme le plus connu de clustering à base de densité. Il fonctionne en identifiant des zones denses de points et en reliant ces zones pour former des clusters. DBSCAN est capable de trouver des clusters de forme arbitraire et peut également identifier les points de bruit.
- OPTICS (Ordering Points To Identify the Clustering Structure) : Cette technique est similaire à DBSCAN mais permet une exploration plus flexible de l'espace des données. Il crée un ordre de hiérarchie des points en fonction de leur densité locale, ce qui permet de découvrir des clusters de différentes densités et de tailles.

- DENCLUE (DENSity-basedCLUstEring) : Cette technique utilise des fonctions de densité pour identifier des clusters. Elle peut être appliquée à des données de haute dimension et peut également détecter des clusters de forme non sphérique.
- Mean Shift : Cet algorithme utilise des fonctions de densité pour trouver des zones de densité maximale et les relie pour former des clusters. Il peut être utilisé pour trouver des clusters de forme non sphérique et peut également être appliqué à des données de haute dimension.
- HDBSCAN (Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) : Il s'agit d'une version améliorée de DBSCAN qui permet de trouver des clusters de différentes densités et de tailles en utilisant une hiérarchie de clusters. Il peut également identifier les points de bruit et est efficace pour les ensembles de données de grande taille.

***Avantages et inconvénients de la méthode à base de densité**

La méthode de clustering basée sur un modèle présente des avantages et des inconvénients.

- **Avantages**

- Capable de trouver des clusters de forme arbitraire et de détecter les points de bruit.
- Peut être efficace pour les ensembles de données de grande taille.
- Ne nécessite pas de spécifier le nombre de clusters à l'avance.
- Peut être utilisé pour la détection d'anomalies.

- **Inconvénients**

- Sensible aux choix des paramètres, tels que la distance seuil et la densité minimale.
- Peut être affecté par des régions de densité similaire qui se chevauchent.
- Peut ne pas être adapté aux données de faible densité ou à la forme sphérique des clusters.
- Peut nécessiter une certaine expertise pour régler correctement les paramètres et interpréter les résultats.

II.3.5.4 Clustering basé sur un modèle

Le clustering basé sur un modèle est une technique de clustering qui utilise un modèle probabiliste pour représenter les données et générer des clusters. Contrairement aux techniques de clustering à base de densité qui se concentrent sur la densité des points, les méthodes de clustering basées sur un modèle cherchent à maximiser une fonction de vraisemblance ou de densité en utilisant un modèle probabiliste.

a. L'algorithme de maximisation des attentes (EM)

L'algorithme de maximisation des attentes (EM) est une méthode d'optimisation utilisée pour estimer les paramètres d'un modèle de probabilité lorsque certaines variables sont cachées ou manquantes. L'EM est un algorithme itératif qui alterne entre deux étapes : une étape d'expectation et une étape de maximisation.

L'étape d'expectation consiste à estimer la probabilité d'appartenance de chaque point de données à chaque cluster ou composante du modèle. Cette étape utilise les paramètres actuels du modèle pour estimer ces probabilités. L'étape de maximisation consiste à mettre à jour les paramètres du modèle en utilisant les probabilités d'appartenance des points de données.

L'EM est souvent utilisé pour estimer les paramètres d'un modèle de mélange de gaussiennes, un modèle de probabilité qui consiste en la somme pondérée de plusieurs gaussiennes (ou distributions normales). Le modèle de mélange de gaussiennes est souvent utilisé pour effectuer du clustering sur des données multi variées. Dans ce cas, chaque gaussienne représente un cluster et les paramètres du modèle comprennent les moyennes, les variances et les poids de chaque gaussienne. L'EM est également utilisé dans d'autres applications, telles que l'inférence de réseaux bayésiens, l'analyse factorielle et la segmentation d'image.

L'un des avantages de l'EM est qu'il fournit une estimation robuste des paramètres du modèle, même lorsque les données sont incomplètes ou que certaines variables sont cachées. Cependant, l'EM peut être sensible à l'initialisation des paramètres du modèle et peut converger vers un minimum local de la fonction de vraisemblance. Pour cette raison, il est important de faire plusieurs exécutions de l'algorithme avec différentes initialisations pour éviter d'obtenir un résultat qu'optima.

b. L'algorithme Self Organizing Maps (SOM)

L'algorithme SOM, également connu sous le nom de carte auto organisatrice, est une méthode non supervisée de réduction de dimension et de clustering. L'algorithme SOM a été développé par Teuvo Kohonen en 1982 et est largement utilisé pour la visualisation de données à haute dimension.

L'idée principale de l'algorithme SOM est de projeter des données d'entrée de grande dimension sur une grille bidimensionnelle de neurones (aussi appelée "carte") tout en préservant la topologie des données. Les neurones de la carte sont organisés de manière à ce que les neurones voisins soient similaires en termes de caractéristiques de sortie. L'algorithme SOM utilise une méthode d'apprentissage non supervisée qui met à jour les poids des neurones en fonction de l'entrée fournie. Ensuite, pour chaque itération, l'algorithme SOM sélectionne un échantillon d'entrée aléatoire et calcule la distance entre l'échantillon et les poids de chaque neurone. Le neurone le plus proche de l'échantillon d'entrée est appelé neurone gagnant et est mis à jour pour se rapprocher de l'échantillon d'entrée. Les neurones voisins sont également mis à jour en fonction

de leur proximité avec le neurone gagnant, en utilisant une fonction de voisinage qui diminue avec la distance.

L'algorithme SOM est souvent utilisé pour la visualisation de données à haute dimension, pour la segmentation d'images et pour l'analyse de séries temporelles. Les avantages de l'algorithme SOM incluent sa capacité à préserver la topologie des données, sa flexibilité pour traiter différents types de données et sa capacité à traiter des données manquantes. Cependant, l'algorithme SOM peut être sensible aux paramètres d'initialisation et de convergence, ce qui nécessite une validation croisée et une recherche de paramètres appropriés.

* **Avantages et inconvénients de la méthode à base sur un modèle**

Le clustering à base de densité est une méthode populaire de clustering non supervisée qui peut être très utile dans de nombreuses applications. Cependant, il présente également des avantages et des inconvénients qu'il convient de prendre en compte avant de l'utiliser.

- **Avantage**

- Cette méthode peut être appliquée à différents types de données, y compris les données multidimensionnelles et les données textuelles.
- Elle permet d'identifier des structures complexes dans les données, qui ne peuvent pas être facilement découvertes par d'autres méthodes de clustering.
- Elle permet de construire des modèles prédictifs à partir des données de clustering pour la classification et la prédiction.

- **Inconvénients**

- Cette méthode nécessite une connaissance préalable de la distribution des données, ce qui peut être difficile à obtenir pour des données de grande dimensionnalité.
- Elle est sensible aux paramètres de modèle choisis, qui peuvent avoir un impact significatif sur les résultats de clustering. Cela signifie que la sélection des paramètres de modèle doit être effectuée avec soin.
- Elle peut être coûteuse en termes de temps et de ressources de calcul, en particulier pour les données de grande dimensionnalité.

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale sur les le routage et le clustering qui sont des techniques clés pour la gestion des réseaux de capteurs sans fil et leur mise en œuvre doit être soigneusement planifiée et optimisée pour maximiser l'efficacité énergétique et les performances du réseau. Les réseaux de capteurs sans fil vont sans doute dans les années à venir

constituer un développement technologique majeur apportant des solutions aux différents problèmes dans plusieurs domaines d'applications liés à la sécurité, la santé, l'agronomie, etc.

Dans le chapitre suivant, le but principal dans la conception de protocoles de routage à basse consommation d'énergie est d'utiliser efficacement l'énergie du réseau pour que sa durée de vie augmente. Dans les réseaux de capteurs sans fil, beaucoup de protocoles de routage sont disponibles de nos jours. Les algorithmes de routage les plus efficaces et les plus populaires sont les protocoles de routage FCM, k-means et k-Medoids.

Chapitre III

Simulation et résultats

III.1 Introduction

Le protocole de routage est en effet crucial dans la conception de tous les réseaux de capteurs corporels sans fil efficaces. Ces réseaux sont constitués de nombreux capteurs sans fil qui sont souvent placés sur le corps humain pour mesurer différents paramètres physiologiques tels que la température, la pression artérielle, la fréquence cardiaque, etc. Dans un tel réseau, les capteurs doivent communiquer efficacement avec un nœud de collecte de données qui est responsable de la collecte et de l'agrégation des données collectées par les capteurs. Le protocole de routage joue un rôle essentiel dans la transmission des données de manière efficace et fiable dans le réseau de capteurs corporels sans fil.

Le protocole de routage détermine la manière dont les données sont transmises entre les différents nœuds du réseau de capteurs. Il doit prendre en compte les caractéristiques du réseau, telles que la topologie, la densité des nœuds, la consommation d'énergie, etc. afin de garantir une transmission efficace des données. En outre, les réseaux de capteurs corporels sans fil doivent également garantir la sécurité et la confidentialité des données transmises, ce qui nécessite également un protocole de routage approprié. En fin de compte, un protocole de routage bien conçu est essentiel pour assurer une communication fiable et efficace entre les capteurs et le nœud de collecte de données dans un réseau de capteurs corporels sans fil.

Dans ce dernier chapitre les différentes phases de mise en œuvre du protocole de routage adopté dans notre contribution. Nous continuons à comparer les performances WBAN résultantes (durée de vie, stabilité, et efficacité énergétique).

III.2 Travaux récents

Ces dernières années, il y a eu de nombreuses expériences dans le domaine du BAN (Body Area Network) dans le monde, et chaque expérience tente de trouver le meilleur moyen d'économiser l'énergie des capteurs et de prolonger la durée de vie du réseau grâce à différentes méthodes. Nous sommes particulièrement intéressés par les travaux sur les protocoles de routage basés sur des clusters.

Anand & Sethi [27] ont discuté de diverses techniques de routage du réseau corporel sans fil (WBAN), de ses défis et de sa comparaison en fonction de divers paramètres. Ils ont fourni une revue de certains des protocoles de routage existants de WBAN en décrivant leurs techniques, avantages et inconvénients. De plus, la comparaison du protocole ATTEMPT (Protocole Multi-sauts économe en énergie basé sur un Seuil Adaptatif basé sur un seuil Thermique), SIMPLE (Protocole Multi-sauts Stable à débit accru pour l'efficacité des liaisons) et EERDT (Transfert de Données Économe en énergie et Fiable) a été réalisée en simulant dans MATLAB.

Singh, K., & Singh, R. K [28] ont proposé un protocole de routage adaptatif basé sur un flou économe en énergie, qui est un protocole de clustering basé sur un flou qui utilise une technique de transmission directe en fonction de la criticité et de l'emplacement des nœuds de capteur (SN). Les résultats de simulation montrent que la technique proposée améliore la période de stabilité et la durée de vie du réseau.

Une autre étude de Ullah, Z., Ahmed, I., Razzaq, K., Naseer, M. K., & Ahmed, N. [29] consiste à présenter un protocole de routage appelé approche à double puits utilisant le clustering dans le réseau corporel (DSCB) qui est plus fiable en termes de stabilité du réseau et économe en énergie par rapport à ses homologues. Ce protocole améliore la durée de vie du réseau en introduisant le concept de clustering tout en utilisant deux nœuds récepteurs. Le schéma proposé est comparé aux protocoles existants nommés SIMPLE et DARE. La fonction de coût est établie pour la sélection du nœud de transfert, en fonction de la distance nodale du puits, de l'énergie résiduelle et de la puissance de transmission. De plus, les résultats montrent une amélioration des performances du protocole DSCB, en termes de stabilité du réseau et de métriques de performance de retard de bout en bout.

III.3 Outils de simulation

Il existe plusieurs outils de simulation disponibles pour simuler les réseaux de capteurs sans fil en général et les réseaux de capteurs corporels en particulier. Ces outils sont : NS-3, Omnet++, Matlab, et Castalia.

Nous avons choisi Matlab car il est largement utilisé pour simuler des réseaux de capteurs sans fil en raison de sa grande flexibilité et de sa puissance de traitement. Il dispose d'une grande bibliothèque de fonctions de simulation pour modéliser les capteurs, les canaux de transmission radio et les algorithmes de clustering tels que le FCM, Kmeans, etc. Il est également facile à utiliser et convivial pour les débutants.

III.4 Contributions et protocoles proposés

D'après toutes études et techniques modernes de routage et de clustering dans le deuxième chapitre que nous avons abordé, nous essaierons de travailler avec tous les protocoles que nous avons examinés et choisirons le protocole approprié pour répondre à plusieurs critères de performance pour un WBAN sous les contraintes imposées par des ressources énergétiques limitées.

Dans la première contribution, nous allons concevoir un protocole de routage basé sur cluster par méthode Fuzzy C-Means (Clustering Based Fuzzy C-Means) avec deux suggestions :

- Tous les nœuds sont concernés par le clustering.
- Priver les nœuds proches des sinks de l'opération de clustering.

Dans la deuxième contribution, nous allons choisir la deuxième suggestion pour faire comparaison avec des méthodes de clustering suivantes : Fuzzy C-Means, K-Means, K-médoïde.

Dans la troisième contribution, nous allons modifier les positions des sinks afin d'augmenter la long évité du réseau.

La performance de l'algorithme de routage proposé basée sur les normes de performances suivantes :

1. Durée de vie du réseau.
2. Stabilité du réseau.
3. Energie résiduelle.

III.5 Modèle WBAN utilisé

III.5.1 Déploiement des nœuds

Le système WBAN proposé se compose de 14 nœuds homogènes ayant des ressources matérielles limitées en raison de leur petite taille [29]. Ces nœuds capteur sont déployés sur la face avant du corps humain avec deux sinks. Ils sont placés à droite et les hanches gauches du corps humain. Ces emplacements des nœuds aident à fournir une connectivité directe à tous les déploiements des nœuds. Les deux puits sont des nœuds avancés à haute matériel performant par rapport aux autres nœuds capteurs. Ils sont placés à différents endroits du corps humain, comme la montre la figure III.1 et leurs détails sont mentionnés dans le tableau III.1.

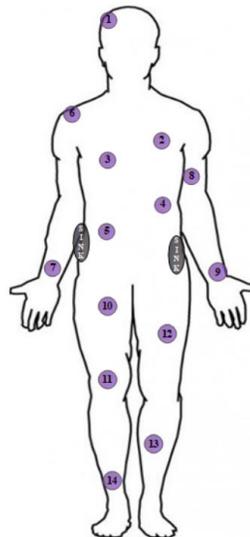


Figure III.1 : Localisation des nœuds.

Tableau III.1: Positions des nœuds selon les axes X et Y.

Nœud	Axe-X (m)	Axes-Y (m)
1	0.32	1.77
2	0.35	1.37
3	0.22	1.35
4	0.36	1.01
5	0.35	0.01
6	0.08	1.45
7	0.06	0.98
8	0.37	1.27
9	0.4	1.01
10	0.22	0.91
11	0.45	0.45
12	0.15	0.5
13	0.15	0.45
14	0.25	0.17
Sink1	0.3	1.03
Sink2	0.09	1.05

III.5.2 Scénario de routage entre nœuds

Les scénarios de communication utilisés dans ce schéma sont les communications à saut unique et à sauts multiples. La communication à saut unique est effectuée :

- 1) Si la donnée détectée est critique (différente des seuils supérieur et inférieur prédéfinis).
- 2) Si le nœud de détection est plus proche du nœud de réception.
- 3) Si le nœud capteur est un CH sélectionné.

Si ce n'est pas le cas, le capteur transmet ses données au puits en utilisant un schéma multi-sauts, en les transmettant d'abord au CH. Une fois que le CH reçoit des données de SN, il les agrège puis les transmet au nœud récepteur. Le sink est chargé de choisir le CH en fonction du facteur de coût calculé (CF).

III.5.3 Modèle énergétique

- 1) La distance entre le SN et sink est calculée par la distance euclidienne. Cette distance a des effets sur la perte de trajectoire.

$$D(i, j) = \sqrt{[X_i - X_j]^2 + [Y_i - Y_j]^2} \quad (\text{III.1})$$

Où (X_i, Y_i) représentent les coordonnées d'un nœud SN et (X_j, Y_j) sont les coordonnées du Sink/CH.

- 2) Le modèle de propagation de perte de trajet sur le corps utilisé dans le schéma proposé est le même que celui utilisé dans

$$P_{Loss} (dB) = \alpha \times \log_{10}(D) + \beta \log_{10}(f) + N_{df} \quad (\text{III.2})$$

Alors que :

- P_{Loss} est la perte de chemin ou l'atténuation de chemin (en dB).
 - D représente la distance entre les SNs et sink.
 - f est la fréquence de fonctionnement (2.4 GHz).
 - N_{df} est la variable distribuée (158 dB).
 - α et β sont les coefficients linéaires dont les valeurs sont respectivement de -27,6 et -46,5.
- 3) L'estimation de la consommation d'énergie durant la transmission, réception et traitement de données est faite selon le modèle radio du 1^{er} ordre dont les équations sont données ci-dessous [3]. L'énergie consommée (exprimées en Joule/bit) durant la transmission de K bits à une destination D d'un nœud est donnée par :

$$E_{TX} (K, D) = E_{TX\ elect} \times K + E_{Amp} \times n \times K \times D \quad (\text{III.3})$$

L'énergie consommée lors de la réception de K bits est donnée par :

$$E_{RX} (K) = E_{RX\ elect} \times K \quad (\text{III.4})$$

L'énergie consommée durant l'agrégation des données faite par le CH est :

$$E_{D-Aggre} (K) = E_{DA} \times K \quad (\text{III.5})$$

Avec :

K: nombre de bits.

E_{TX elec}: Energie consommée par l'unité de transmission du SN.

E_{Amp}: Energie consommée par le circuit d'amplification.

E_{RX elec}: Energie consommée par l'unité de réception du SN.

E_{D-aggre}: Energie consommée lors de l'agrégation.

D: La distance entre nœud et CH ou CH et sink.

n: Path-loss d'un corps humain.

- 4) L'énergie du noeud SN est consommée lors de diverses opérations de collecte d'agrégation, traitement, de transmission et de réception de données. L'équation (III.6) [3] peut être utilisée pour exprimer une estimation de la perte d'énergie totale de tous les membres du cluster :

$$E_{c-membre}(i) = \sum_{j=1}^N \{E_{Amp} \times n \times K \times D(i, j) + E_{TX} \times K\} \quad (III.6)$$

Où :

E_{c-membre}(i) : La perte d'énergie totale d'un membre i d'un cluster.

N : Le nombre total de SNs dans un réseau.

- 5) Après avoir estimé la perte d'énergie de tous les membres du cluster, SN se considère comme CH du cluster, puis calcule la perte d'énergie, les agrège et les transmet au nœud récepteur s'il reçoit des données de tous ses membres du cluster. La perte d'énergie estimée à partir d'énergie actuelle du SN est exprimée à l'aide de l'équation (III.7).

$$E_{Loss-SN}(i) = (E_{Tx} + E_{D-Aggre}) \times K + E_{Amp} \times n \times K \times D(i, sink) + (N - 1) \times E_{Rx} \times K \quad (III.7)$$

Avec :

E_{Loss-SN}(i) : La perte d'énergie totale estimée du SN considéré (ou candidat CH).

ED-Aggre : Energie d'agrégation négligeable.

La valeur la plus faible d'**E_{Loss-SN}(i)** représente la meilleure proximité des SNs au nœud sink.

- 6) La somme des deux pertes d'énergie (équation(III.6) & (III.7) représente la perte totale d'énergie du réseau, exprimée dans l'équation (III.8), $E_{Total-loss}(i)$ pour le SN i :

$$E_{Total-loss}(i) = E_{C-member}(i) + E_{Loss-SN}(i) \quad (III.8)$$

III.6 Implémentation de protocoles

Pour mener des expérimentations sur les protocoles de routage propose dans ce travail et pour évaluer les performances de ceux.

Nous avons implémentes différents programmes (FCM, KMeans et KMedoids)à l'aide du logicielde programmation Matlab. Pour cela, voici le détail des paramètres de simulation utilisés comme l'énergie initiale fournie à tous les SNs, la zone de simulation, le nombre de nœud déployés et leur emplacement etc. comme indiqué dans le tableau III.2.

Tableau III.2: Paramètres de simulation.

PARAMETRES	VALEURS
Zone de simulation	1x2m ²
Nombre de nœuds capteur	14
Nombre de sink	2
Positions des nœuds capteurs et des sink	sink indiqués dans le tableau 3.1
Positions des nœuds capteurs et des sink	0.5 J
ETx-électronique	16.7e-9 J/bit
ERx-électronique	36.1 e-9 J/bit
E Amplificateur	1.98 e-9 J/bit
E aggregation	5 e-9 J/bit
La fréquence de travail	2.4 GHz
Nombre maximum de bit	300

La simulation se fera en trois contributions.

III.6.1 Première contribution

Pour la topologie de WBAN, nous déployons 14 nœuds et 2 sinks, les positions des nœuds sont indiquées par le tableau III.2.Nous avons créés des clusters qui regroupent des nœuds pour la facilite de rapproche réseau et transfert depuis seulement le membre dans un cluster. La méthode

de clustering utilisée est FCM que nous pouvons appeler sa fonction à partir de la bibliothèque de MATLAB en indiquant le nombre de cluster $nc=2$. La méthode de FCM donne le centre de chaque cluster puis calcule la distance pour dessiner les cercles (**Figure III.2**).

Au début, le CH est choisi selon la proximité du sink, mais à partir de la deuxième itération, le choix de CH dépend de l'énergie résiduelle des nœuds dans le cluster.

- **Première approche (Tous les nœuds sont concernés par le clustering)**

Dans cette approche, tous les nœuds sont concernés par le clustering comme la montre la figure III.2. Le protocole utilisé est nommé CBFCM (Cluster Based Fuzzy CMeans).

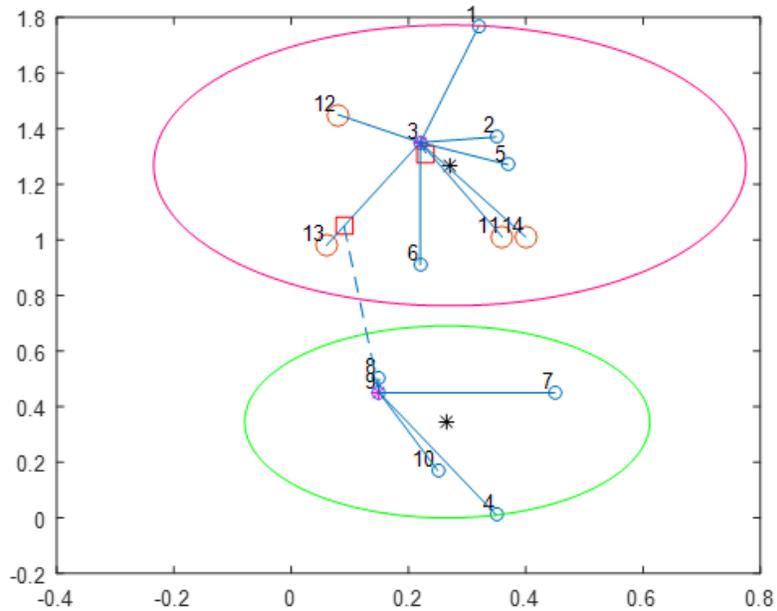


Figure III.2: Transmission par CBFCM.

Une fois la mise en œuvre du protocole CBFCM terminée, nous avons testé ses performances du point de vue « énergie résiduelle consommée » et « nombre de nœuds vivants ».

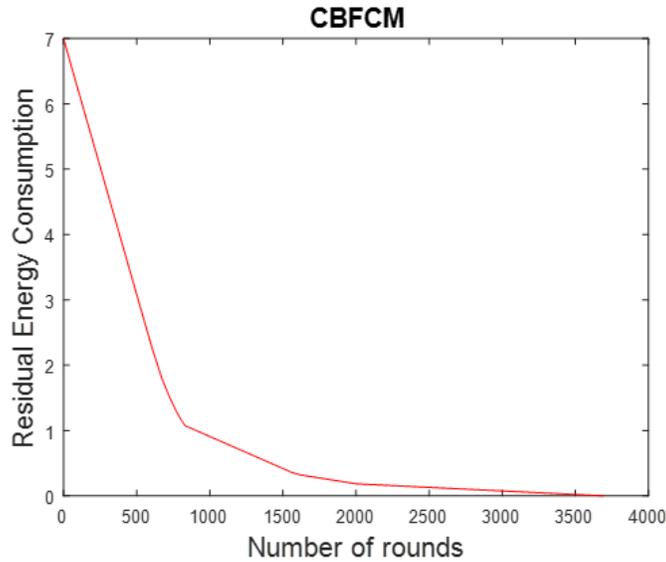


Figure III.3: Energie résiduelle consommée par CBFCM.

La figure III.3 représente l'énergie restante consommée par tous les nœuds en fonction des itérations. Cette énergie passe à zéro, c'est-à-dire, le réseau épuise ses énergies l'itération 3693.

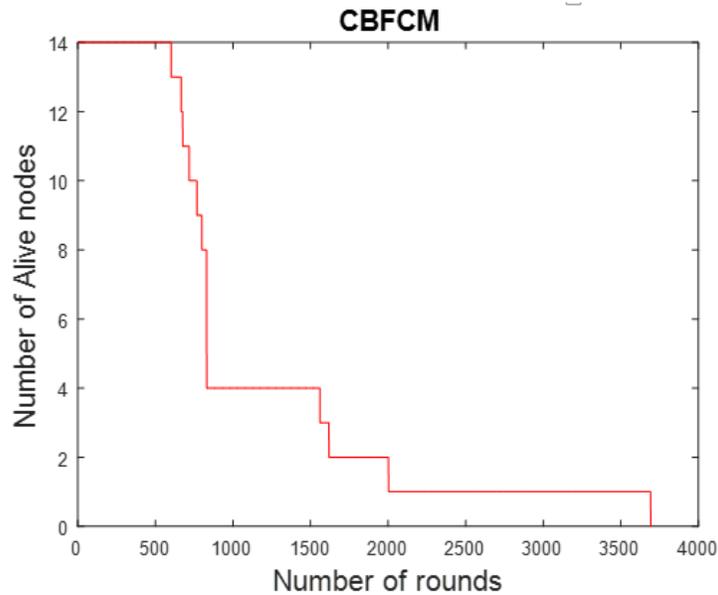


Figure III.4: Nombre de nœuds vivants avec le protocole CBFCM.

Dans la figure III.4, nous pouvons clairement voir que le nombre de nœuds actifs diminue progressivement en fonction du nombre des itérations jusqu'à ce que le dernier nœud épuise son énergie à l'itération 3693, entraînant la mort de l'ensemble du réseau.

- **Deuxième approche**

La deuxième approche nommée CBFCM-PN (CBFCM sans les nœuds les plus proches aux sinks), est une amélioration de la première approche dont laquelle les nœuds proches des sinks sont privés de l'opération de clustering. L'implémentation de cette approche est faite sous Matlab pour tester ses performances.

La transmission de données des nœuds privés du cluster se fait comme suit (voir figure III.5) :

- Le nœud 14 transmet au nœud 11, qui lui-même transmettra au sink 1.
- Les nœuds 13 et 12 transmettront leurs données directement au sink 2.

Par conséquent, les autres nœuds doivent d'abord transmettre leurs données au CH sélectionné, puis ce dernier se chargera de les traiter puis de les transférer au destinataire (sink 1 ou sink 2).

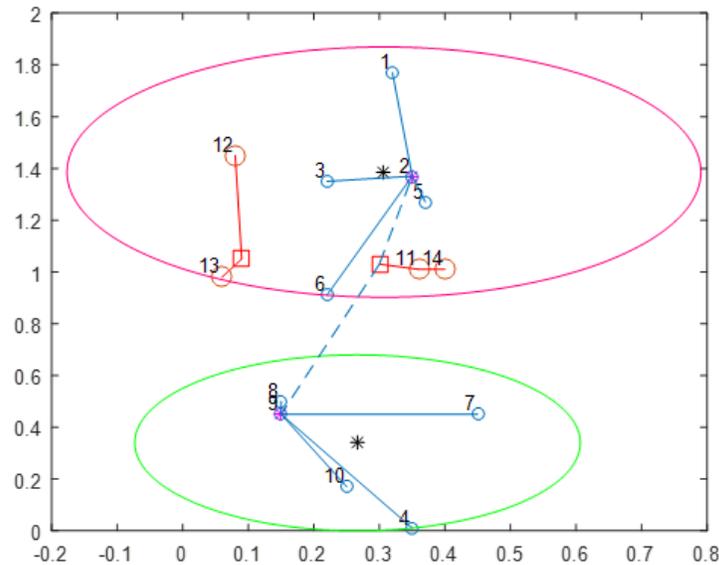


Figure III.5: Transmission par CBFCM-PN.

Après l'implémentation du protocole de routage CBFCM-PN, les mêmes performances sont analysées dont voici le résultat.

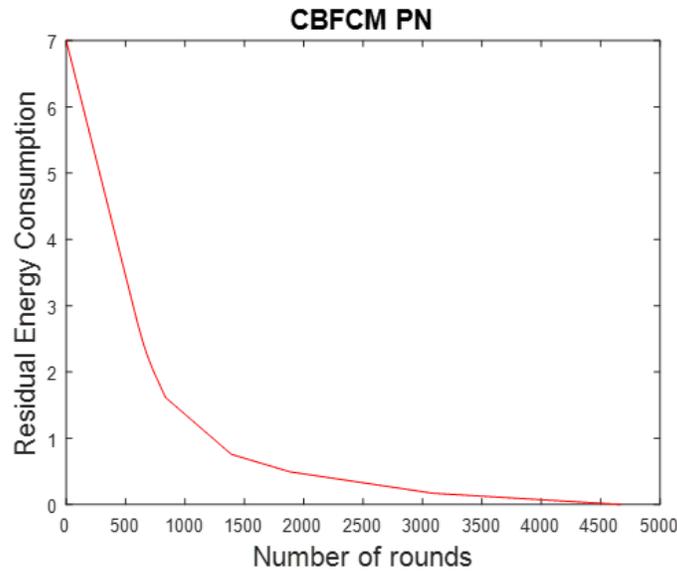


Figure III.6: Energie résiduelle consommée par CBFCM-PN.

La figure III.6 présente la courbe de l'énergie résiduelle consommée dans tous le processus. Nous notons que cette énergie passe à zéro au round 4672.

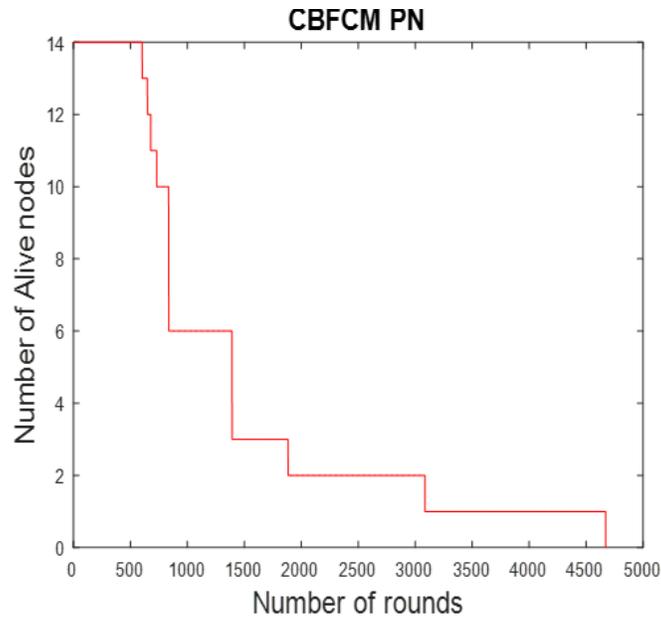


Figure III.7: Nombre de nœuds vivants avec le protocole CBFCM-PN.

La figure III.7 montre le nombre des nœuds restant en vie en fonction des itérations. Le dernier nœud meurt au round 4672 entraînant la mort totale de l'ensemble du réseau.

III.6.2 Deuxième contribution

Dans cette partie, nous avons choisi de changer la méthode de clustering FCM que nous sommes déjà utilisés par d'autres méthodes de clustering abordées au chapitre II.

- K-Means

K-Means est un algorithme de clustering non supervisé couramment utilisé en apprentissage automatique et en analyse de données. Il est utilisé pour regrouper des données en fonction de leurs similitudes, en partitionnant un ensemble de données en un certain nombre de clusters (groupes) distincts. L'algorithme vise à minimiser la variance intra-cluster et maximiser la variance inter-cluster, en utilisant une technique d'optimisation itérative qui implique la mise à jour itérative des centres de cluster jusqu'à ce qu'une convergence soit atteinte.

- K-Medoids

C'est un algorithme de clustering non supervisé similaire à KMeans, qui vise également à partitionner un ensemble de données en un certain nombre de clusters distincts. Cependant, contrairement à KMeans qui utilise les centres de cluster comme représentants, KMedoids utilise des points de données réels (appelés "médoïdes") comme représentants. Les médoïdes sont sélectionnés de manière itérative à partir de l'ensemble des données et sont mis à jour à chaque étape de l'algorithme en minimisant la somme des distances entre chaque point de données et son médoïde le plus proche dans le cluster. Les deux fonctions de K-Means et K-Medoids appartiennent à la bibliothèque des fonctions MATLAB.

Après l'implémentation du protocole CBKmeans et CBKMedoïde (voir les figures : III.8 et III.11), nous avons testé leurs performances en termes de « énergie résiduelle consommée » et du « nombre de nœuds vivants », voici ce que nous avons obtenu comme résultats :

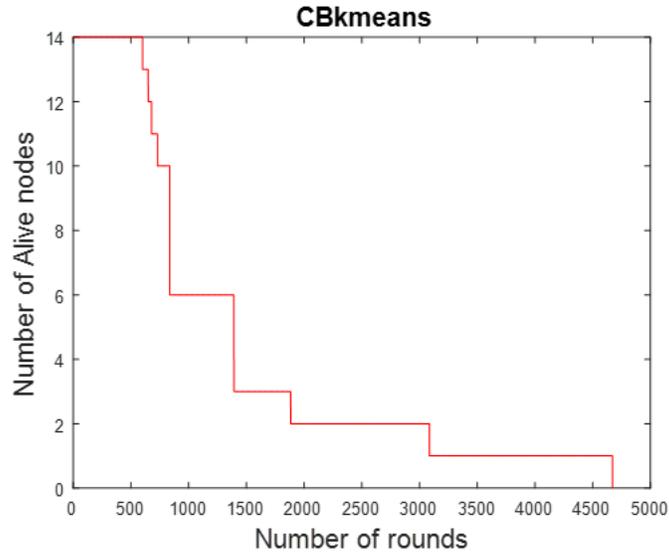


Figure III.10: Nombre de nœuds vivants avec le protocole CBKmean.

Dans la figure III.10, le dernier nœud meurt aux rounds 4672 et entraînant la mort de l'ensemble du réseau.

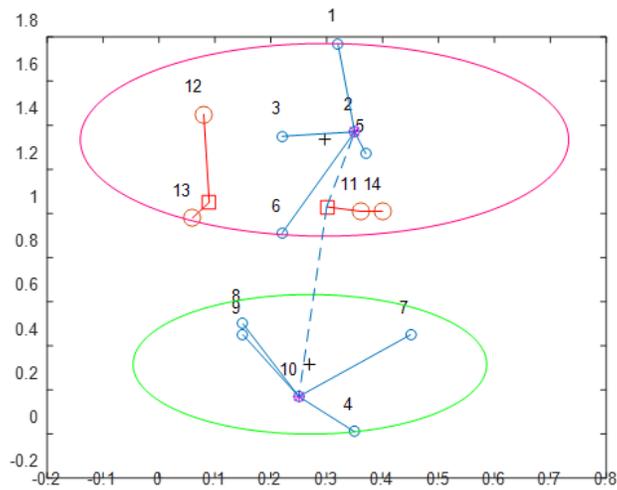


Figure III.11: Transmission par CBKmedoids.

Pour le protocole de routage CBKmedoids, les mêmes performances sont analysées dont voici le résultat :

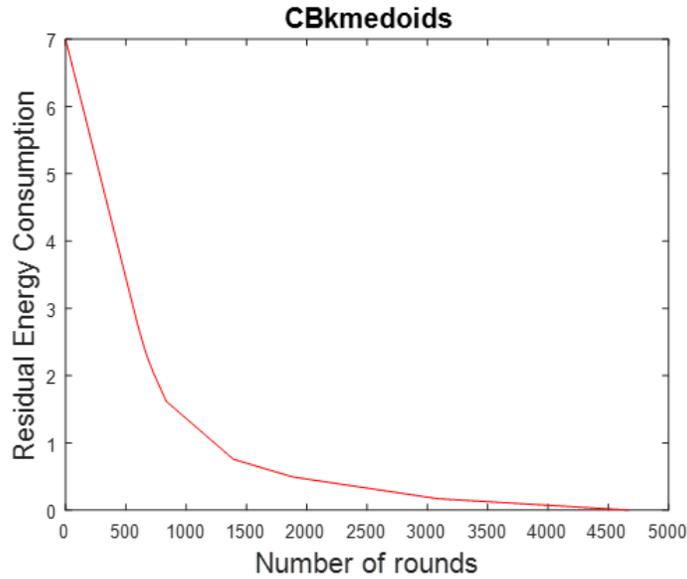


Figure III.12: Energie résiduelle consommée par CBKmedoids.

La figure III.12 présente courbe de l'énergie résiduelle consommée dans tous les processus. Nous notons que cette énergie passe à zéro au round 4672.

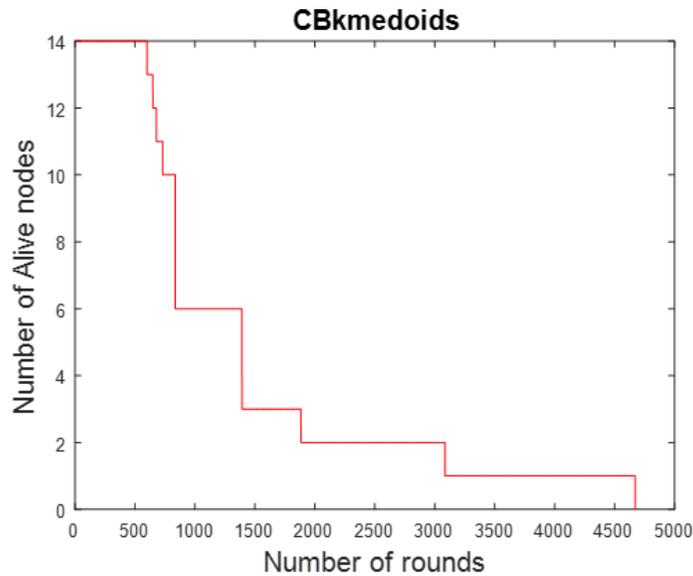


Figure III.13: Nombre de nœuds vivants avec le protocole CBKmedoids.

La figure III.13 donne le dernier nœud meurt au round 4672 et provoque la mort de tout le réseau.

En somme, FCM, KMeans et KMedoids sont des algorithmes de clustering différents en termes d'approche de partitionnement et de représentation des clusters, et chacun peut être plus approprié

pour un type de données ou de problèmes de clustering spécifiques. Lorsque le nombre de capteurs est petit, les données peuvent être relativement simples et les trois algorithmes peuvent donner des résultats similaires. Cependant, il est important de noter que les résultats peuvent varier en fonction de différents facteurs tels que les valeurs initiales des centres de clusters, les paramètres spécifiques de chaque algorithme, la présence de valeurs aberrantes, et le nombre des nœuds, etc.

III.6.3 Troisième contribution (Improved CBFCM)

La position du "sink" peut avoir un impact sur la performance globale du système WBAN, notamment en termes de qualité de transmission, de consommation d'énergie et de latence. En fonction de la topologie spécifique du réseau, de la portée des capteurs et des contraintes du système, il peut être avantageux de déplacer le "sink" à différentes positions pour contribuer à une meilleure gestion de l'énergie dans le système WBAN. En déplaçant le "sink" plus près des capteurs ou en l'alignant avec des sources d'alimentation externes, vous pouvez réduire les besoins énergétiques des capteurs pour la transmission des données, prolongeant ainsi leur durée de vie de la batterie.

Nous avons changé la position de sink 2 ($x = 0.09, y = 1.05$ Tableau 3.1) plusieurs fois et nous avons donné une valeur approximative très proche au deuxième cluster (le gauche genou) où $x = 0,14$ et $y = 0,5$ (voir la figure III.14).

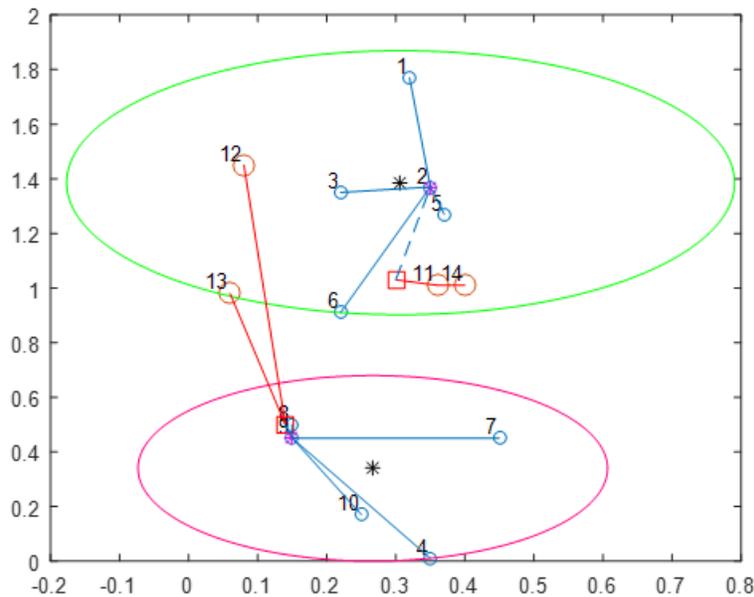


Figure III.14: Transmission par Improved CBFCM.

Une fois la mise en œuvre du protocole "Improved CBFCM" terminé, nous avons testé ces performances du point de vue « énergie résiduelle consommée » et « nombre de nœuds vivants », voici ce que nous avons obtenus comme résultats :

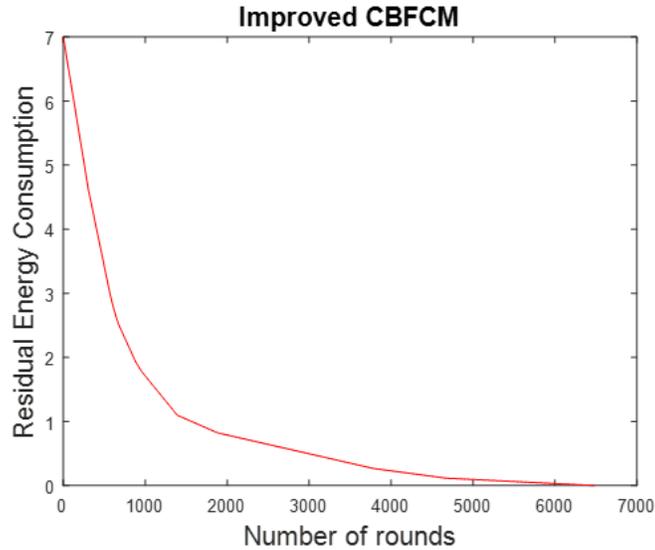


Figure III.15: Energie résiduelle consommée par Improved CBFCM.

La figure III.15 représente la courbe de l'énergie résiduelle consommée dans tout le réseau (en Joule/bit) en fonction du nombre de round par le protocole de routage Improved CBFCM. On constate que cette énergie devient nulle au round 6482.

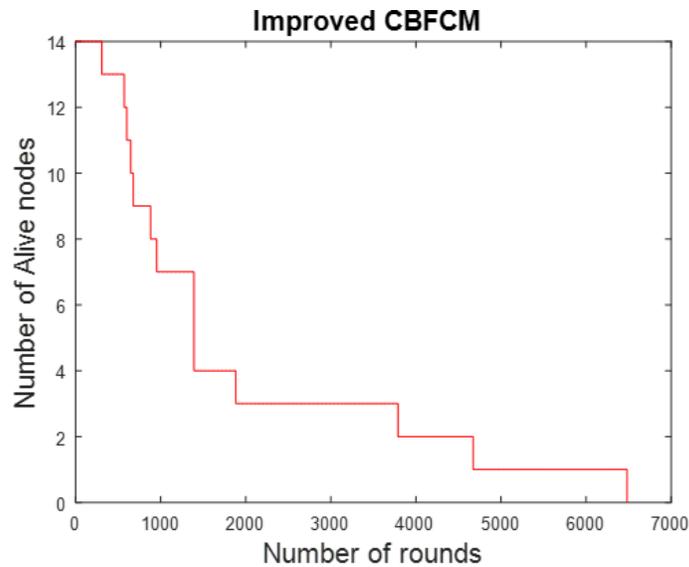


Figure III.16: Nombre de nœuds vivants avec le protocole Improved CBFCM.

La figure III.16 présente courbe nombre de nœuds vivants dans tous les processus. Nous notons que le dernier nœud meurt au passe à zéro au round 6482.

III.7 Comparaison entre CBFCM et "Improved CBFCM"

Le protocole "Improved CBFCM" proposé est comparé au protocole CBFCM en termes de durée de vie du réseau, de consommation d'énergie résiduelle totale et de stabilité du réseau.

À cette fin, nous regroupons les courbes de consommation d'énergie restantes et les courbes de nombre de nœuds survivants obtenues par les deux protocoles de routage en fonction du nombre de tours pour montrer l'amélioration apportée par le protocole Improved CBFCM.

III.7.1 Energie résiduelle

L'énergie résiduelle totale du réseau se réfère à la somme de l'énergie restant de tous les SN du réseau. Les différentes opérations effectuées dans le SN, la transmission et la réception des données consomment de l'énergie.

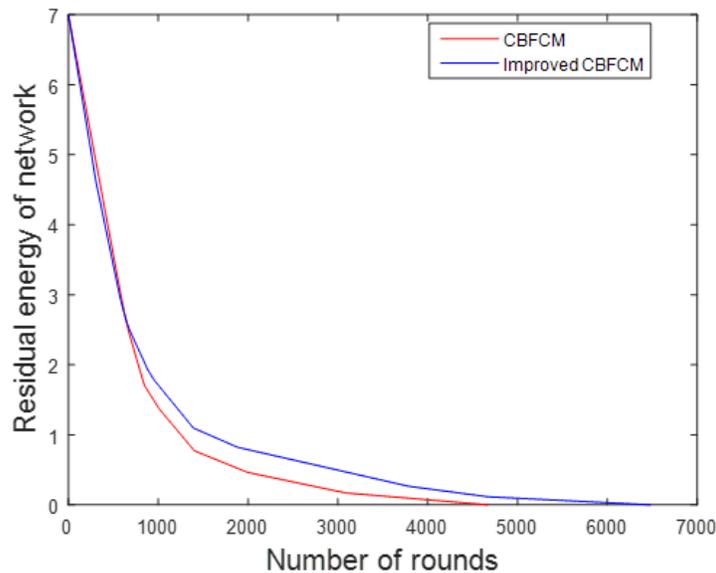


Figure III.17: Comparaison des énergies résiduelles consommées par les 2 méthodes.

D'après la figure III.17, nous constatons que l'énergie résiduelle du protocole Improved CBFCM est supérieure à celle du protocole CBFCM.

III.7.2 Durée de vie du réseau

La durée de vie d'un réseau fait référence à la période pendant laquelle un réseau est considéré comme efficace, fonctionnel et capable de répondre aux besoins des utilisateurs. Cela inclut la capacité du réseau à fournir une connectivité fiable, une performance adéquate, ainsi que la prise en charge des applications et des services requis.

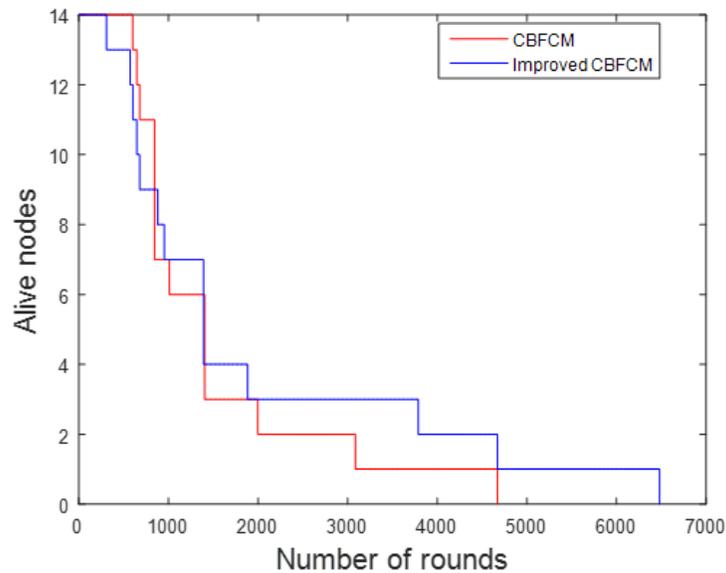


Figure III.18: Comparaison du nombre de nœuds vivants pour les 2 méthodes.

Nous avons constaté que le dernier nœud du protocole CBFCM est mort à l'itération 4672, alors que, le protocole Improved CBFCM a considérablement augmenté la durée de vie du réseau, et le dernier nœud est mort au tour 6482 (voir figure III.18).

III.7.3 Stabilité du réseau

Il s'agit de la période avant la mort du premier SN du réseau. Les SNs dans les réseaux ayant une meilleure période de stabilité, vivent plus longtemps. Nous présentons ici un résumé des résultats sous forme d'histogramme, obtenus des deux protocoles de routages adoptés, concernant l'ordre du round dans lequel le premier nœud meurt ou le dernier nœud qui meurt.

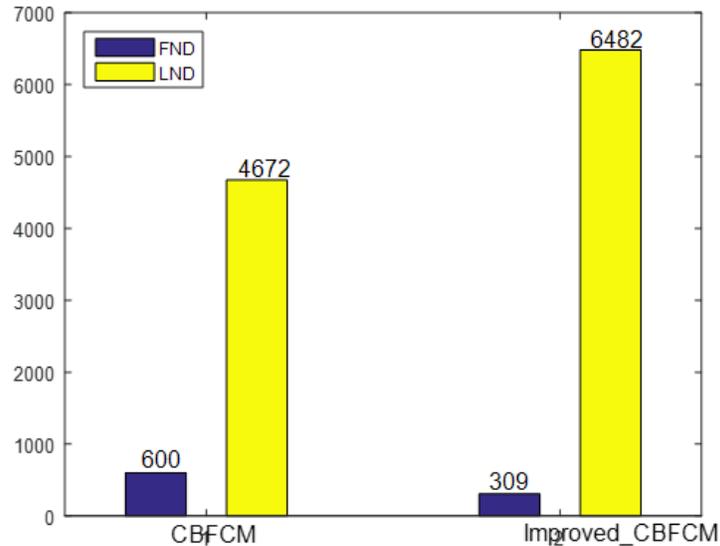


Figure III.19: Epuisement d'énergie du premier et dernier nœud de chaque protocole.

D'après la figure III.19, le premier nœud du protocole CBFCM meurt à l'itération 600 et son dernier nœud épuise son énergie à l'itération 4672, alors que le premier nœud du protocole "Improved CBFCM" meurt à l'itération 309 et son dernier nœud épuise son énergie à l'itération 6482. Cela démontre que le protocole CBFCM modifié atteint une période de faible stabilité par rapport à CBFCM. Le protocole "Improved CBFCM" les performances du réseau en raison du mouvement de la position du "sink".

III.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord fait une étude comparative entre les algorithmes de clustering FCM, K-Means et K-Medoid, puis nous avons procédé à l'évaluation des performances de deux protocoles de routage coopératif WBAN basé sur les clusters ; il s'agit des protocoles CBFCM et le protocole "Improved CBFCM".

Ce protocole propose principalement deux mécanismes pour améliorer les performances, à savoir la sélection dynamique des CHs parmi les membres du cluster et le principe selon lequel les nœuds proche des sinks leur envoient directement les données collectées et à déplacer le "sink2" à différentes positions pour contribuer à une meilleure gestion de l'énergie dans le système WBAN. Cette nouvelle approche à haut rendement réduit la consommation d'énergie résiduelle, améliore la stabilité du réseau et prolonge sa durée de vie.

Dans les travaux futurs, des recherches supplémentaires sur le routage WBAN sont nécessaires pour fournir de meilleures performances que celles obtenues en termes de qualité de transmission, la consommation d'énergie et la latence pour l'utilisation de réseau de WBAN dans les applications de soins de santé.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le réseau WBAN (Wireless Body Area Network) offre une solution prometteuse pour les applications médicales en utilisant des nœuds capteurs sans fil pour collecter des informations précises sur la santé des patients. Les avancées en nanotechnologie ont permis de réduire la taille des capteurs et de leurs batteries, facilitant ainsi leur intégration dans le corps humain.

Le choix du protocole de routage dans un WBAN est crucial pour atteindre des performances optimales. Dans ce travail, nous avons conçu et implémenté sous le logiciel Matlab un protocole de routage énergétiquement efficace basé sur le clustering, appelé "Improved CBFCM". Nous avons comparé ce protocole avec autres techniques et obtenu des résultats satisfaisants selon les critères de performance d'un réseau WBAN, tels que la consommation d'énergie résiduelle, la stabilité du réseau et la durée de vie estimée du réseau.

Nous avons constaté que la combinaison d'une transmission à saut unique à l'intérieur d'un même cluster et d'une transmission à multi-sauts entre les nœuds exclus du clustering permet d'obtenir une meilleure efficacité énergétique. De plus, l'utilisation des algorithmes FCM, K-means et K-medoid a donné des résultats similaires, car le nombre de nœuds était insuffisant pour observer une différence significative.

Dans la dernière partie de notre travail, nous avons comparé les protocoles CBFCM et "Improved CBFCM" en modifiant la position du sink 2, ce qui a conduit à de meilleurs résultats, notamment une durée de vie prolongée du réseau et une amélioration de l'efficacité énergétique. Pour des perspectives futures, nous suggérons d'explorer davantage le changement de position des sinks pour améliorer l'efficacité énergétique et augmenter la période avant la mort du premier nœud.

Notre travail de conception et d'implémentation d'un protocole de routage énergétiquement efficace dans un WBAN a démontré des résultats satisfaisants. Cependant, il reste des possibilités d'amélioration et de recherche future pour optimiser davantage les performances des réseaux WBAN dans le domaine médical.

Bibliographie

- [1] Ali MAKKE, Ahmed MEHAOUA, Rani MAKKE and Abderrahim BENSLIMANE, “Jamming Attack Detection and Jammer Type Identification in Wireless Body Area Networks”, submitted to the Journal of Wireless Communications and Mobile Computing, April 2014.
- [2] Mohamed BENAZZOUZ, «Surveillance de tout point d'une zone d'intérêt à l'aide d'un réseau de capteur multimédia sans fil » Ecole nationale supérieure d'informatique Oued- Smar Alger Algérie - magistère IRM 2013.
- [3] Julien BEAUDAUX, « Partitionnement logique dans les réseaux de capteurs sans fil», Mémoire de Master, Université de Strasbourg, Laboratoire des Sciences de l'Image de l'Informatique et de la Télédétection, 2010.
- [4] H. JMEL - M. CAUDRON - A. BRISSET - P. M. GUITARD, Réseaux de capteurs sans-fils, projet avancé, Université de Lyon, 2008.
- [5] H. Karl and A. Willig, *Protocols and architectures for wireless sensor networks*. John Wiley & Sons, 2007.
- [6] Min CHEN, Sergio GONZALEZ, Athanasios Vasilakos, Huasong Cao and Victor C. M. Leung, “Body Area Networks: A Survey”, *Mob. Netw. Appl. Journal*, pages: 171-193, April 2011.
- [7] H. ALEMDAR and C. ERSOY, “Wireless sensor networks for healthcare: A survey», *The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, Volume 54 (Issue 15), pages: 2688–2710, October 2010. ‘Zzzxt.
- [8] Ali MAKKE pour obtenir le grade de docteur de l'Université Paris Descartes Spécialité: Informatique et Réseaux Détection d'attaques dans un système WBAN de surveillance médicale à distance.
- [9] P. K. D. PRAMANIK, A. NAYYAR, et G. PAREEK, «WBAN: Driving e-healthcare Beyond Telemedicine to Remote Health Monitoring», in *Telemedicine Technologies*, Elsevier, p. 89-119. 2019.
- [10] David MARTINS and Hervé GUYENNET, “Wireless Sensor Network Attacks and Security Mechanisms - A short survey”, In NBIS'10, 13th International Conferenc. On Network-Based Information Systems, pages: 313-320, Japan, September 2010.

- [11] A. ABBASI, M. YOUNIS, "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks," *Computer Communications*, vol. 30, pp. 2826-2841, October 2007.
- [12] Youcef YASER. Routage pour la gestion de l'énergie dans les reseaux de captures sans fil. 2010. These de doctorat .Mulhouse.
- [13] Calorine PRODHON. LE PROBLEME DE LOCALISATION-ROUTAGE. 2006
- [14] Bangash, J.I.; Abdullah, A.H.; Anisi, M.H.; KHAN, A.W. A survey of routing protocols in wireless body sensor networks. *Sensors* 2014, 14, 1322–1357.
- [15] Hu, F.Y.; WANG, L.; WANG, S.S.; Guo, G. Hierarchical recognition Algorithm of Body Posture Based on Wireless Body Area Network. *J. Jilin Univ. (Inf. Sci. Ed.)* 2016, 34, 1–7.
- [16] KIM, B.-S.; KIM, K.H.; KIM, K.-I. A Survey on Mobility Support in Wireless Body Area Networks. *Sensors* 2017, 17, 797.
- [17] BHANUMATHI, V. SANGEETHA, C.P. A guide for the selection of routing protocols in WBAN for healthcare applications. *Human-centric Comput. Inf. Sci.* 2017, 7, 1–19.
- [18] TANG, Q., TUMMALA, N., GUPTA, S.K.S., Schwiebert, L. TARA: Thermal-Aware Routing Algorithm for Implanted Sensor Networks. *Hum. Cent. Comput.* 2005, 3560, 206–217.
- [19] BHANGWAR, A.R.; KUMAR, P.; AHMED, A.; Channa, M.I. Trust and Thermal Aware Routing Protocol (TTRP) for Wireless Body Area Networks. *Wirel. Pers. Commun.* 2017, 97, 349–364.
- [20] B. FERHAT et H. LAMIA, «le routage hiérarchique sous contrainte d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil,» 2014.
- [21] Nadjia KHATIR, Thèse de doctorat en informatique “ Les techniques de clustering dédiées aux données multimédia », université Ahmed Ben Bella d' Oran, 2018/2019.
- [22] Johnson.S.C, «Hierarchical Clustering Schemes », *Psychometrika*, Vol.32, p.241-254, 1967.
- [23] Lotfi KHODJA, « Contribution à la Classification Floue non Supervisée », thèse de doctorat, Université de Savoie, France.
- [24] Kelaiaia ABDESSALEM, « Classification non supervisée de textes arabes appliquée à la recherche documentaire », Mémoire de magister, Université 08 mai 45 de Guelma, Algérie, 2007.
- [25] Ronald R.YAGER, « S-mountain method for obtaining focus points from data ». *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 16(6), p.815–828, 2008.

- [26] Nesma SETTOUTI, « Renforcement de l'Apprentissage Structurel pour la reconnaissance du Diabète », Rapport de recherche, Université Abou BekrBelkaid de Tlemcen, Algérie, 2011.
- [27] ANAND, & SETHI, D. (2017, February). Comparative analysis of energy efficient routing in WBAN. In *2017 3rd International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT)* (pp. 1-6). IEEE.
- [28] Singh, K., & Singh, R. K. (2015, December). An energy efficient fuzzy based adaptive routing protocol for wireless body area network. In *2015 IEEE UP Section Conference on Electrical Computer and Electronics (UPCON)* (pp. 1-6). IEEE.
- [29] Z. ULLAH, Ahmed, I., RAZZAQ, K., NASEER, M. K., & Ahmed, N. (2019). DSCB: Dual sink approach using clustering in body area network. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 12, 357-370.