

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 télécommunication

Par :

Refoufi Yassine

Moussaoui Hichem

Sujet

**Proposition d'une approche basée sur la logique floue pour la
sélection des têtes de Clusters dans les WBANs**

Soutenu publiquement, le 28/06/2022, devant le jury composé de :

Mr Feham Mohammed
Mr Moussaoui Djilali
Mr Hadjila Mourad
Mme Sidhoum Lamia

Professeur Université de Tlemcen
MCA Université de Tlemcen
MCA Université de Tlemcen
Doctorante Université de Tlemcen

Président
Examineur
Encadreur
Co-Encadreur

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

On remercie Dieu le tout-puissant de nous avoir donné la santé, la volonté ainsi que le courage pour dépasser toutes les difficultés afin d'accomplir ce mémoire.

Nous tenons à remercier nos parents ainsi que toute personne ayant aidé de près ou de loin à l'achèvement de notre projet de fin d'études. MERCI

Nous voudrions également exprimer notre profonde gratitude, notre considération, et nos grands remerciements à notre encadrante Madame Sidhoum Lamia doctorante à l'université Abou-Bekr Belkaid, pour sa grande patience, ses conseils et sa disponibilité. Sa compétence a rendu ce travail particulièrement intéressant.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Monsieur HADJILA Mourad maître de conférences à l'université Abou-Bekr Belkaid, nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous adressons nos remerciements aux membres du jury qui nous feront l'honneur d'évaluer, d'examiner et d'enrichir cette modeste contribution.

Nos vifs remerciements vont à, Monsieur Feham Mohammed professeur à l'université Abou-Bekr Belkaid d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

On remercie également Monsieur Moussaoui Djilali maître de conférences à l'université Abou-Bekr Belkaid d'avoir accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par ses propositions.

Nos vifs remerciements vont à, Monsieur Irid SIDI MOHAMED HADJ chef département à l'université Abou-Bekr Belkaid vous êtes la raison du succès et les partenaires de la réussite, nous avons fait la différence avec vous

Merci ne suffit pas pour votre manager

Nous voudrions adresser nos remerciements à tous les enseignants du département des télécommunications et le personnel de la faculté de Technologie de Tlemcen qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.

N'oublions point nos amis de notre promotion pour les bons moments passés ensemble au sein de notre département

Dédicace

A nos Grands Famille,

A nos Petites Familles,

A tous nos amis,

A tous ceux qui nous aiment,

A tous ceux qui nous ont soutenus de près ou de loin,

On dédie ce Travail

Résumé

Avec l'augmentation de la population et l'augmentation du nombre de personnes âgées, les réseaux de capteurs corporels sans fil peuvent s'avérer bénéfiques pour fournir des services médicaux aux personnes qui ont besoin d'une surveillance et de soins continus. Le développement des technologies de communication sans fil a conduit à des nœuds de capteurs qui peuvent être portés sur le corps, implantés et intégrés sur le corps. Il s'agit de dispositifs de petite taille qui peuvent effectuer un traitement sur les signaux captés par le corps humain et les communiquer ensuite à la destination requise où ces données peuvent être utilisées à diverses fins de recherche ou d'autres diagnostics. Dans le passé, une grande partie des travaux de recherche concernant les réseaux de zone de corps traite de la conception de nœuds de capteur, miniaturiser les nœuds, divers protocoles liés à la communication et le routage.

Les mots clés : RCSF, WBAN, WSN, Clustering, Routage, C-Means, Optimisation de ressources (énergie, durée de vie).

Abstract

As the population grows and the number of elderly people increases, wireless body sensor networks can be beneficial in providing medical services to people who need ongoing monitoring and care. The development of wireless communication technologies has led to sensor nodes that can be carried on the body, implanted and integrated in the body. These are small devices that can perform processing on signals picked up by the human body and then communicate them to the required destination where these data can be used for various research or other diagnostic purposes. In the past, much of the research on body area networks dealt with the design of sensor nodes, miniaturizing nodes, various protocols related to communication and routing.

Key words: RCSF, WBAN, WSN, Clustering, Routing, C-Means, Resource optimization (energy, lifetime).

ملخص

مع نمو السكان وزيادة عدد كبار السن، يمكن أن تكون شبكات استشعار الجسم اللاسلكية مفيدة في تقديم الخدمات الطبية للأشخاص الذين يحتاجون إلى المراقبة والرعاية المستمرة. أدى تطور تقنيات الاتصالات اللاسلكية إلى ظهور عقد استشعار يمكن حملها على الجسم وزرعها ودمجها في الجسم. هذه هي الأجهزة الصغيرة التي يمكنها إجراء المعالجة على الإشارات التي يلتقطها جسم الإنسان ثم توصلها إلى الوجهة المطلوبة حيث يمكن استخدام هذه البيانات لأغراض بحثية مختلفة أو لأغراض تشخيصية أخرى. في الماضي، تناول الكثير من الأبحاث حول شبكات منطقة الجسم تصميم عقد الاستشعار، وتصغير العقد، والبروتوكولات المختلفة المتعلقة بالاتصال والتوجيه.

كلمات البحث :

RCSF, WBAN, WSN, Clustering, Routage, C-Means, Optimisation de ressources (énergie, durée de vie).

Table des matières

<i>Remerciements</i>	i
<i>Dédicace</i>	ii
Résumé.....	iii
Abstract.....	iii
ملخص	iii
<i>Table des matières</i>	iv
<i>Listes des figures</i>	vii
<i>Liste des tableaux</i>	viii
<i>Liste des abréviations</i>	ix
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Etat de l'art sur les réseaux WBAN	3
I.1 INTRODUCTION.....	4
I.2 Les réseaux WBAN (Wireless Body Area Network).....	4
I.2.1 Définition d'un réseau de capteur corporel sans fil	4
I.2.2 Définition d'un capteur médical	5
I.2.3 Architecture de communication dans les systèmes WBAN.....	5
I.2.3.1 Communications « Intra-BAN ».....	5
I.2.3.2 Communications « Inter-BAN ».....	6
I.2.3.3 Communications « Au-delà de BAN ».....	6
I.2.4 Topologies des réseaux WBAN.....	6
I.2.4.1 Topologie Point-à-point.....	7
I.2.4.2 Topologie en Etoile.....	7
I.2.4.3 Topologie en Maille	7
I.2.4.4 Topologie en Arbre	8
I.2.5 Protocoles de communications sans fil.....	9
I.2.5.1 La norme IEEE 802.15.1 / Bluetooth.....	9
I.2.5.2 La norme Wibree (Ultra Low Power Bluetooth).....	9
I.2.5.3 La norme IEEE 802.15.3 / UWB (Ultra Wide Band).....	9
I.2.5.4 La norme IEEE 802.15.4 / Zigbee	10
I.2.5.5 La norme IEEE 802.15.6	10
I.2.5.6 La norme IEEE 802.11x/Wifi.....	10
I.2.6 Technologies LPWAN.....	11
I.2.6.1 Lora.....	11
I.2.6.2 Sig fox.....	12
I.2.6.3 INGENU RPMA.....	12

I.2.6.4 NB-IoT.....	13
I.2.7 Caractéristiques et exigences des WBANs.....	14
I.2.8 Applications WBANs	15
I.2.8.1 La surveillance des activités de la vie quotidienne.....	16
I.2.8.2 La détection de chute et du mouvement.....	16
I.2.8.3 Le suivi de prise des médicaments.....	16
I.2.8.4 La localisation des patients ou de l'équipe médicale	16
I.2.8.5 La surveillance de l'état de santé.....	17
I.2.8.6 La Bio-surveillance	18
I.2.8.7 La prédiction des maladies.....	18
I.3 Conclusion	18
Chapitre 2 : Défis du routage et classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN	
19II.1 Introduction.....	20
II.2 Défis du routage dans les WBAN	20
II.2.1 Mouvements du corps postural.....	20
II.2.2 Élévation de température et interférences.....	21
II.2.3 Sensibilisation à l'énergie locale	21
II.2.4 Durée de vie du réseau global.....	21
II.2.5 Gamme de transmission efficient	21
II.2.6 Limitation du nombre de sauts de paquets	22
II.2.7 Environnement hétérogène.....	22
II.2.8 Limitation des ressources.....	22
II.3 Classification des protocoles de routage dans les WBANs.....	22
II.3.1 Protocoles de routage basés sur des clusters.....	23
II.3.2 Protocoles de routage inter couches (cross layer).....	24
II.3.3 Protocoles de routage compatibles QoS.....	26
II.3.4 Protocoles de routage sensibles à la température.....	28
II.3.5 Protocoles de routage basés sur le mouvement postural	30
II.4 Conclusion	32
Chapitre 3 : Logique floue et techniques de clustering dans les Wbans	33
III.1 Introduction.....	34
III.2 La logique floue	34
III.2.1 Définition de la logique floue.....	34
III.2.2 Logique floue et logique classique	34
III.2.3 Intérêts de la logique floue.....	35
III.2.4 Les sous-ensembles flous.....	35
III.2.5 Les variables floues.....	36
III.2.6 Système d'inférence floue de Mamdani.....	36
III.2.7 Définition des règles d'inférence ou règles floues	37

III.2.8 Les opérateurs de logique floue	37
III.2.9 Agrégation des règles floues.....	38
III.3 La technique de clustering dans les WBANs.....	38
III.3.1 Définition d'un cluster.....	38
III.3.2 Qu'est-ce que le clustering.....	38
III.3.3 Communication intra-cluster et inter-cluster	38
III.3.4 Clustering C-Means flou	39
III.3.5 Principe de construction de clusters	40
III.3.6 Modèle énergétique	41
III.3.7 Election des cluster-heads	42
III.4 Conclusion.....	43
Chapitre 4 : Implémentation et Simulation.....	44
IV.1 Introduction.....	45
IV.2 Contributions et protocoles proposés	45
IV.3 Le modèle WBAN utilisé	46
IV.3.1 Topologie et modèle du réseau.....	46
IV.3.2 Modèle énergétique.....	46
IV.4 Implémentation de protocoles de routage	47
IV.4.1 Tous les nœuds sont concernés par le clustering	50
IV.4.2 Les nœuds proches des sinks ne sont pas concernés par le clustering.....	52
IV.4.3 Comparaison entre les deux algorithmes.....	54
IV.5 Conclusion	55
Conclusion générale.....	56
Conclusion générale	57
Référence	59

Listes des figures

Figure I.1: Wireless Body Area Networks.

Figure I.2 : Architecture générale des communications dans un système BAN.

Figure I.3 : Les topologies dans les réseaux WBAN.

Figure I.4 : Les Technologies de communications sans fil.

Figure II-1 : Classification des protocoles de routage.

Figure III.1 : logique floue et logique classique.

Figure III-2 : Principe de logique floue.

Figure III.3 : Principe de logique floue.

Figure IV.1 : Système d'inférence flou de type mamdani.

Figure IV.2 : Fonctions d'appartenance de la variable d'entrée « énergie résiduelle »

Figure IV.3 : Fonctions d'appartenance de la variable d'entrée « distance/ au sink1 »

Figure IV.4 : Fonctions d'appartenance de la variable de sortie « PCHE »

Figure IV.5: Topologie de réseau (solution 1).

Figure IV.6 : Énergie résiduelle consommé en fonction de nombre d'itérations.

Figure IV.7 : Nombre de nœuds vivants en fonction de nombre d'itération.

Figure IV.8: Topologie de réseau (solution 2).

Figure IV.9 : Énergie résiduelle consommé en fonction de nombre d'itérations.

Figure IV.10 : Nombre de nœuds vivants en fonction de nombre d'itération.

Figure IV.11 : Comparaison des énergies résiduelles consommées par les deux méthodes.

Figure IV.12 : Comparaison du nombre de nœuds vivants pour les deux méthodes.

Liste des tableaux

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

Tableau I.2 : Caractéristiques et exigences de WBAN.

Tableau II.1 : Protocoles de routage en cluster dans les réseaux corporels.

Tableau II.2 : Protocoles multicouches dans les réseaux corporels.

Tableau II.3 : Protocoles de routage sensibles à la QoS dans les réseaux corporels.

Tableau II.4 : Protocoles de routage sensibles à la température dans les réseaux corporels.

Tableau II.5 : Protocoles de routage postural dans les réseaux corporels.

Liste des abréviations

RCSF	Réseaux de Capteur Sans Fils
WBAN	Wireless Body Area Network
BAN	Body Area Network
WSN	Wireless Sensor Network
SN	Sensor Node
PDA	Personal Digital Assistant
AP	Acces Point
CH	Cluster Head
QoS	Qualité de service
LEACH	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
ULPB	Ultra Low Power Bluetooth
UWB	Ultra Wide Band
UMSN	Wireless Multimédia sensor Network
LPWAN	Low Power Wide Area Network
CSS	Chirp Spread Spectrum
RPMA	Random Phase Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
FDMA	Frequency Division Multiple Access
HIT	Hybrid indirect transmission
CBBAP	Cluster based body area protocol
LEACH	Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy
CICADA	Cascading information retrieval by controlling access with distributed slot assignment
TICOSS	Time zone coordinated sleep scheduling
WASP	Wireless autonomous spanning tree protocol
EPR	Energy-aware peering routing protocol
QPRD	QoS-aware peering routing protocol for delay sensitive data
QPRR	QoS aware peering routing protocol for reliability sensitive data
DMQoS	Data-centric multi objective QoS-aware routing protocol
TEEN	Threshold sensitive energy efficient sensor network protocol
LAEEBA	Link-aware and energy efficient scheme for body area networks
ECG	ElectroCardioGraphie
EEG	ElectroEncéphaloGraphie
LTRT	Least Total Route Temperature

TARA Thermal-Aware Routing Algorithm HPR
LTR Least Temperature Rise
MAC Medium Access Control
HPR Hotspot Preventing Routing
IoT Internet of Things
OBSFR On-Body Store and Forward Routing
FCM Fuzzy c-means
CHSFL Cluster Head Selection based on Fuzzy Logic
ICHSFL Improved Cluster Head Selection based on FuzzyLogic
CHs Clusters Head
IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineer
API Interface de programmation d'applications
UMTS Universal Mobile Telecommunications System
GPRS General Packet Radio Service

Introduction générale

L'essor des nouvelles technologies ainsi que les progrès effectués dans les domaines des micro-électroniques, des télécommunications, des réseaux et du traitement de l'information ont permis de produire à coût raisonnable des capteurs de quelques millimètres cubes de volume, susceptibles de fonctionner en réseau appelé communément réseau de capteur sans fil. Dans un scénario d'application classique, les capteurs sont déployés dans un champ d'intérêt afin de mesurer certains phénomènes physiques et de faire remonter les informations collectées à une station de base, nommée le nœud puits (Sink). Ce dernier a plus de ressources que les autres nœuds et peut traiter les informations reçues localement. Le nœud Sink est administré par un utilisateur via un réseau externe (internet, satellite, etc.). Les domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil sont nombreux et variés du fait notamment de la variété des capteurs. Parmi les domaines qui ont été révolutionnés par les réseaux de capteurs sans fil, on trouve le domaine médical. Les réseaux de capteurs sans fil utilisés dans le domaine médical sont appelés réseaux de capteurs corporels ou simplement WBANs (Wireless Body Area Networks). Ces dispositifs ont révolutionné les systèmes de télémédecine en améliorant la qualité du soin et en réduisant les coûts énormes associés à des patients ambulants dans les hôpitaux. Grâce aux réseaux de capteurs corporels, la surveillance des patients peut avoir lieu en temps réel même en dehors de l'hôpital (dans l'environnement familial, voire professionnel, ce qui est devenu le souhait de tout patient) et sur une plus longue période. Les réseaux de capteurs corporels sans fil (WBAN) sont constitués généralement de très petits dispositifs électroniques (micro-capteurs), capables de détecter, de calculer, de stocker et communiquer des grandeurs physiques entre eux sans fil. Ces petits dispositifs sont appelés des nœuds capteurs, ils forment ensemble un réseau appelé réseau de capteurs corporel sans fil (WBAN) qui fournit des informations utiles prises par les différents capteurs et les communique ensuite via un support sans fil à un point de collecte principale appelé "Sink" qui les communique lui aussi à son tour à un poste de contrôle distant. Les micro-capteurs se sont des composants électroniques de quelques millimètres cubes de volume, qui intègrent[1] :

- Une unité de captage chargée de capter des grandeurs physiques (température du corps, tension artérielle, battement du cœur, etc.) et de les transformer en grandeurs numériques.
- Une unité de traitement informatique et de stockage de données.
- Un module de transmission sans fil. Ces micro-capteurs fonctionnent de façon autonome et nécessitent forcément l'utilisation d'une batterie comme source d'énergie ce qui implique une durée de vie limitée du capteur voire du WBAN même. D'un autre côté les opérations de captage, traitement et communication des données par les micro-capteurs implique une consommation d'énergie plus au moins importante c'est ainsi que plusieurs recherches sont consacrées dans le but d'optimiser la consommation d'énergie, la durée de

Vie du réseau, la température et l'interférence, etc. Dans ce sens, plusieurs protocoles de routage ont été proposés afin d'optimiser la consommation d'énergie et de prolonger par conséquent la durée de vie du réseau. Un protocole de routage permet l'acheminement des informations au sein du réseau avec l'envoi des messages entre nœuds capteurs pour la collecte et le transfert d'information ce qui s'avère coûteux en matière d'énergie et qui cause l'épuisement des batteries, la perte des données et la diminution de la durée de vie du WBAN. [1] L'objectif de notre travail est de proposer une approche éco énergétique basée sur la logique floue pour la sélection des têtes de Clusters dans les réseaux WBANs.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre donnera un aperçu général et un état de l'art sur les réseaux WBAN.

Le deuxième chapitre est conçu pour présenter les défis du routage et classifie plusieurs protocoles de routage utilisés dans les réseaux WBAN.

Le troisième chapitre sera consacré à l'étude de la logique floue et les techniques de clustering dans les WBANs.

Dans le quatrième chapitre, nous allons présenter l'implémentation des deux protocoles "CHSFL" pour "Cluster Head Selection based on Fuzzy Logic ", et "ICHSL" pour "Improved Cluster Head Selection based on Fuzzy Logic ".

Enfin, une conclusion générale sur notre travail sera présentée ainsi que les perspectives suggérées.

Chapitre 1 :
Etat de l'art sur les réseaux
WBAN.

I.1 INTRODUCTION

Le WSN a révolutionné de nombreux domaines et notamment le domaine médical. Les réseaux corporels sans fil (WBAN) sont formés en utilisant de minuscules capteurs de surveillance de la santé sur le corps humain afin de collecter et de communiquer les données personnelles humaines. Ils sont connus sous le nom de Wireless Body Area Network ou WBAN en anglais.

Un système WBAN sert comme solution pour faciliter les tâches effectuées dans le secteur médical et minimiser les risques d'erreurs lors du processus de diagnostic médical. En effet, il peut surveiller et contrôler la santé des patients à distance.

Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement les réseaux de capteurs corporels sans fil WBANs :

I.2 Les réseaux WBAN (Wireless Body Area Network)

I.2.1 Définition d'un réseau de capteur corporel sans fil

Un réseau de capteurs corporels sans fil est un réseau constitué de mini-capteurs portables ou implantés dans le corps humain. Chaque nœud capteur est généralement capable de détecter une ou plusieurs caractéristiques physiologiques à partir du corps humain ou de son environnement. Le nœud capteur stocke puis transmet les données mesurées par l'intermédiaire d'un réseau sans fil à un dispositif de traitement central connu sous le nom de serveur personnel. Les WBANs ont plus d'exigences en termes de sécurité et de miniaturisation des capteurs par rapport aux WSNs. [2]

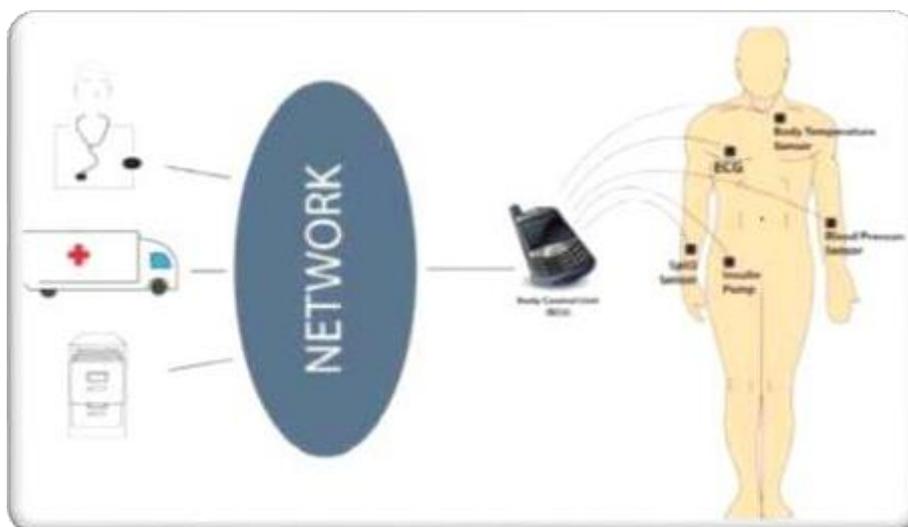


Figure I.1: Wireless Body Area Networks.

I.2.2 Définition d'un capteur médical

Un capteur est un dispositif ayant pour tâche de transformer une mesure physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire exploitable et compréhensible pour un système d'information. Un capteur médical se constitue d'un capteur équipé d'un circuit électronique spécifique capable de mesurer un ou plusieurs paramètres physiologiques. Donc : capteur + circuit électronique spécifique = capteur médical. [3].

I.2.3 Architecture de communication dans les systèmes WBAN

Le schéma suivant illustre l'architecture générale d'un système WBAN (Wireless body Area Network) de surveillance médicale, où plusieurs types de capteurs corporels envoient leurs données de mesure à un serveur via une connexion sans fil. Ces données sont ensuite transmises (par exemple via Internet) à l'équipe médicale pour un diagnostic en temps réel, ou à une base de données médicale pour enregistrement, ou à l'appareil approprié qui déclenche une alerte d'urgence. Nous décomposons la communication dans un système BAN en trois composantes [3] : la communication « Intra-BAN », la communication « Inter-BAN » et la communication « Au-delà de BAN ».

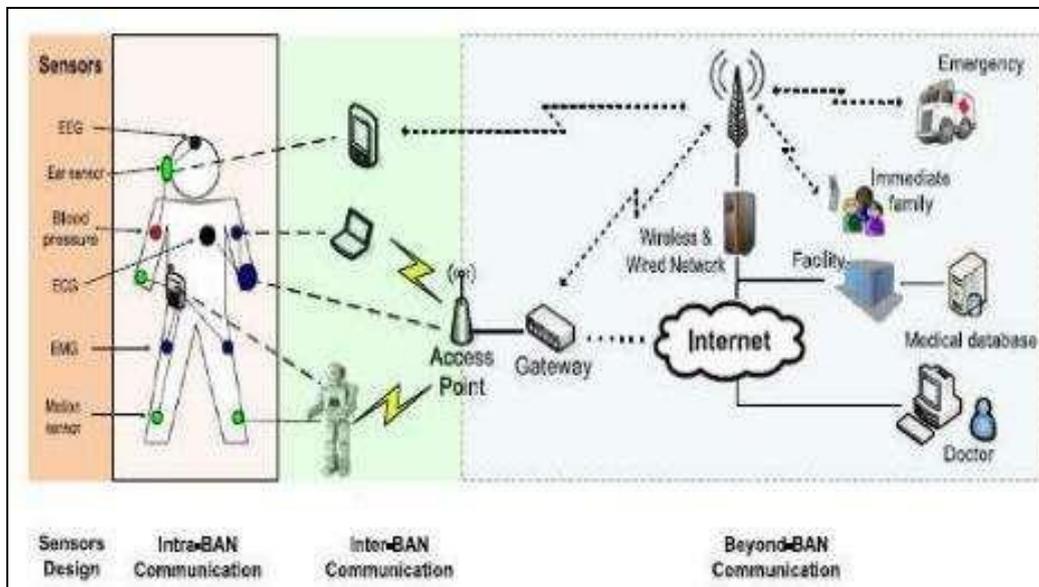


Figure I.2 : Architecture générale des communications dans un système BAN. [3]

I.2.3.1 Communications « Intra-BAN »

En général, un WBAN est organisé selon une topologie en étoile, dans laquelle les nœuds de capteurs envoient les données recueillies au BNC. Les communications intra-wban

concernent la communication entre les différents nœuds de capteurs implantés ou fixés sur le corps humain qui constituent le WBAN et le BNC. Cette dernière est chargée de traiter les données collectées et de gérer les nœuds de capteurs. [3]

I.2.3.2 Communications « Inter-BAN »

En raison de la mobilité des utilisateurs équipés de WBANs et des fréquentes coupures de communication dans les environnements et les zones rurales avec une couverture insuffisante ou l'indisponibilité de l'infrastructure du réseau, il n'est pas facile de relayer les données collectées de manière fiable. Dans une telle situation, les WBAN impliquent une communication inter-wban et exploitent les éléments suivant une communication coopérative et multi-sauts entre les BNC pour assurer une transmission fiable des données de bout en bout en utilisant des réseaux sans fil à courte portée comme ZigBee et Wi-Fi. [3]

I.2.3.3 Communications « Au-delà de BAN »

Ce type de communication est utilisé pour assurer une transmission fiable des données collectées du nœud coordinateur du WBAN à un centre de données distant. Les données collectées sont relayées par de nombreux dispositifs intermédiaires, tels qu'un assistant numérique personnel (PDA), un point d'accès (AP) ou un téléphone mobile, en utilisant des différentes technologies de communication (WSN, Wi-Fi, GPRS, UMTS, 4G, etc.). [3]

I.2.4 Topologies des réseaux WBAN

Dans cette section, nous décrivons les topologies les plus utilisées pour déployer des réseaux WBAN. On distingue les topologies suivantes : Point à point, étoile, grille et arbre. La figure I.3 montre les quatre topologies.

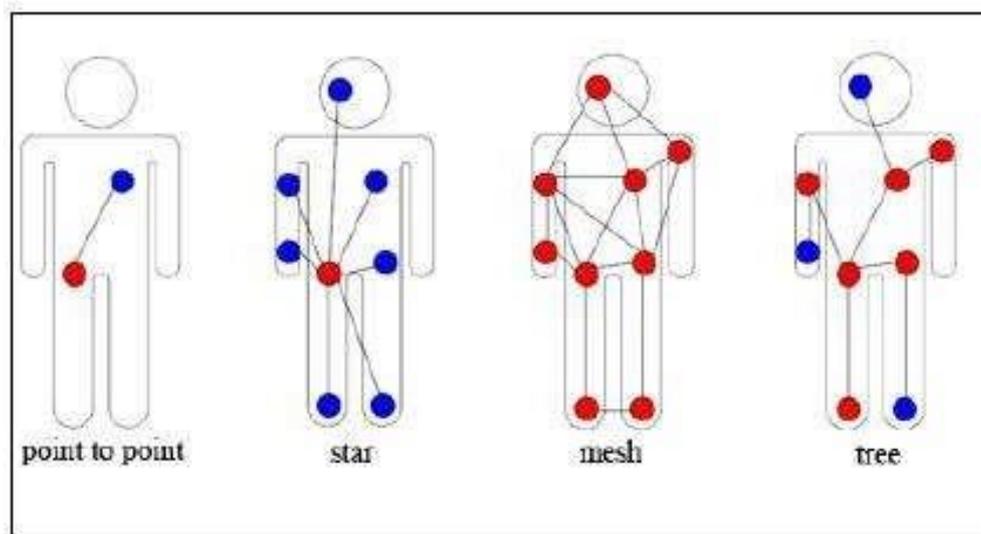


Figure I.3 : Les topologies dans les réseaux WBAN [3].

I.2.4.1 Topologie Point-à-point

C'est la topologie la plus simple dans un réseau. Cette topologie fonctionne pour un seul lien, par exemple entre un collecteur de données et un nœud de capteur. L'avantage principal de cette topologie est la simplicité du protocole qu'elle permet généralement d'utiliser, la faible latence et le haut débit. Les inconvénients comprennent sa fonctionnalité limitée et sa faible couverture [3].

I.2.4.2 Topologie en Etoile

Une topologie où tous les nœuds sont connectés par un seul nœud qui se trouve au centre. Ces nœuds ne peuvent envoyer ou recevoir des messages que d'un seul nœud central. Ils ne se permettent pas d'échanger des informations directement entre eux. Le nœud central agit comme un relais entre différents nœuds, cette topologie est de loin la plus proposée et la plus utilisée dans les réseaux WBAN. Les avantages de cette topologie peuvent être résumés comme simple, à faible consommation d'énergie et à une latence de communication réduite entre les nœuds et le nœud central. En revanche, son principal inconvénient est la fragilité des nœuds centraux, car l'ensemble du réseau est géré par un seul nœud [3].

I.2.4.3 Topologie en Maille

Une topologie avec une connectivité complète entre les nœuds est une topologie maillée. Dans ce cas (appelé « communication multi-sauts »), tous les nœuds peuvent s'échanger des informations s'ils se trouvent dans la portée de transmission des autres nœuds.

Lorsqu'un nœud veut transmettre un message à un autre nœud en dehors de sa portée de transmission, un nœud intermédiaire peut être utilisé pour envoyer ses messages au nœud cible. L'avantage d'utiliser une topologie maillée est la possibilité de faire évoluer le réseau avec redondance et tolérance aux pannes et une bonne couverture. Au contraire, l'inconvénient de cette topologie est la forte consommation d'énergie causée par la communication multi-sauts et en transmettant des messages qui passent par plusieurs nœuds avant d'atteindre le nœud de destination. L'utilisation de la topologie maillée est une considération majeure dans les cas où la fiabilité et la flexibilité de la communication sont une priorité sur l'efficacité énergétique et la durée de vie du réseau [3].

I.2.4.4 Topologie en Arbre

La topologie arborescente contient un sommet dont la structure est branche ci-dessous. Les connexions entre les nœuds sont hiérarchiques, et cela signifie que chaque nœud peut être un enfant d'un nœud de niveau supérieur et un parent d'un nœud de niveau inférieur. Cette topologie divise le réseau en sous-sections pour une gestion plus facile. Elle a une bonne tolérance aux pannes, une bonne couverture, une importante bande passante et une latence faible. Cependant, le nœud parent peut consommer beaucoup l'énergie [3]. Le tableau 2 résume les avantages et les inconvénients de chacune des topologies ci-dessus :

Topologie	Avantages	Inconvénients
Point à point	-Simplicité -Faible latence -Débit élevée	-Fonctionnalités limités -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

Tableau I.1 : Les avantages et les inconvénients des topologies dans les réseaux WBAN [3]

I.2.5 Protocoles de communications sans fil

Le support utilisé dans les réseaux de capteurs médicaux sans fil est les ondes radio. C i-dessous les principales normes radio utilisées pour les applications basées sur les réseaux radio capteurs auxquels nous faisons référence :

I.2.5.1 La norme IEEE 802.15.1 / Bluetooth

À l'origine, la norme Bluetooth était proposée pour transmettre la voix et les données [4]. Son objectif était de permettre des communications de courte portée. Le débit de communication est limité sur 3 Mbps. Par exemple, le capteur BtNode est conçu pour la communication du type Bluetooth. Cependant, le protocole Bluetooth n'est pas le protocole le plus couramment utilisé dans les réseaux de capteurs, bien qu'il puisse partiellement satisfaire le problème d'économie d'énergie, car il est gravement entravé par une échelle limitée. Il peut former un réseau d'uniquement 8 nœuds (1 nœud maître et 7 nœuds esclaves).

I.2.5.2 La norme Wibree (Ultra Low Power Bluetooth)

Il est considéré comme une version allégée de la norme Bluetooth, adaptée aux bandes 2,4 GHz. Wibree n'utilise pas de saut de fréquence. Cette norme prend en charges une topologie en étoile (un maître, sept esclaves) [5]. Dans le but de réduire la consommation d'énergie de Bluetooth, Wibree utilise une puissance de transmission et un faible taux de symboles. Une connexion Wibree consomme 10% d'énergie en moins d'une connexion Bluetooth. Sa principale limitation est sa faible portée de communication :(5 - 10 mètres).

I.2.5.3 La norme IEEE 802.15.3 / UWB (Ultra Wide Band)

Cette norme utilise des signaux radio envoyés à très faible intensité, et très courtes impulsions [6]. Elle fonctionne dans la bande de fréquences de 3,1 GHz à 10,6 GHz. UWB est conçu pour remplacer la norme Bluetooth pour fournir plus de bande passante ; moins de perturbations pour les autres techniques et une latence plus faible. Et elle utilise une transmission à grande vitesse avec une consommation électrique (proche de 400 Mw). Cette technique présente des avantages par rapport au Bluetooth, en consommant 50 fois moins d'énergie de transmission par rapport à Bluetooth. Selon Akyildiz et al. [7], aujourd'hui, la norme IEEE 802.15.3 est devenue la norme qui fournit plus de qualité de service dans les WMSN (Wireless Multimedia sensor Network). Le principal inconvénient de la technique UWB est sa faible portée de communication (environ 10 mètres).

I.2.5.4 La norme IEEE 802.15.4/Zigbee

Elle est conçue pour les communications à très faible puissance et à distance réduite. Cette technique est utilisée dans les réseaux de capteurs sans fil [1]. Par rapport au Bluetooth, la technique offre une faible latence ; la couche physique DSSS : "Direct Séquence Spread Spectrum" permet au nœud de passer en mode veille sans perdre la synchronisation. Le protocole Zigbee est basé sur la norme IEEE 802.15.4. Il définit ses couches PHY et MAC, qui permettent théoriquement une durée de vie prolongée d'un nœud depuis plusieurs années. Un autre avantage de ce protocole est qu'il fournit le déploiement d'un réseau dense de plus de 65 000 nœuds avec une portée d'environ 100 mètres et d'un débit de 250 Kbits/s. Ses caractéristiques en font le protocole dominant aujourd'hui pour les réseaux de capteurs.

I.2.5.5 La norme IEEE 802.15.6

Cette norme à courte portée est utilisée par des objets ou des équipements à faible consommation, placés sur ou à proximité du corps humain. Elle permet un débit maximal de 10 Mbit/s. La norme allie la sécurité, la fiabilité, la qualité de service, la faible consommation d'énergie et la protection antibrouillage, ce qui peut la rendre adaptée aux applications de réseau de capteur sans fil (WBAN) [9]. La norme IEEE 802.15.6 définit une couche MAC et trois couches physiques différentes sont disponibles en fonction de l'application visée. La couche NB PHY (NB est utilisé pour bande étroite) permet la transmission dans les bandes ISM (industrielle ; science et médecine) à des débits allant jusqu'à 500 Kbits/s. La couche physique UWB PHY est basée sur la technique radio ultra large bande (UWB), pour laquelle elle est appelée UWB PHY. Elle permet des débits jusqu'à 10 Mbits/s et les bandes de fréquences sont autour de 4 GHz et 8 GHz. Enfin, la couche HBC PHY (HBC pour la communication du corps humain) inspiré de la norme de communication en champ proche et fonctionne dans les bandes de fréquences 16 Mhz et 27 Mhz.

I.2.5.6 La norme IEEE 802.11x/Wifi

Le protocole de communication Wi-Fi est actuellement le protocole le plus utilisé dans les applications sans fil. Il offre une large bande passante (de 11 à 320 Mbits/s), permettant de démocratiser l'utilisation de la technique sans fil dans les réseaux WLAN traditionnels. Les premiers réseaux de capteur sans fil ont utilisé ce protocole pour communiquer entre les nœuds. Cependant, la norme de communication Wi-Fi n'apparaît plus en tant que solution viable pour les réseaux de capteurs sans fil, en raison du besoin élevé d'énergie utilisée. La durée de vie du

capteur sans fil est très limitée à cause des batteries qui durent rarement plus de quelques heures. Par conséquent, l'utilisation des applications de capteurs basées sur la communication sans fil Wi-Fi est très rare.

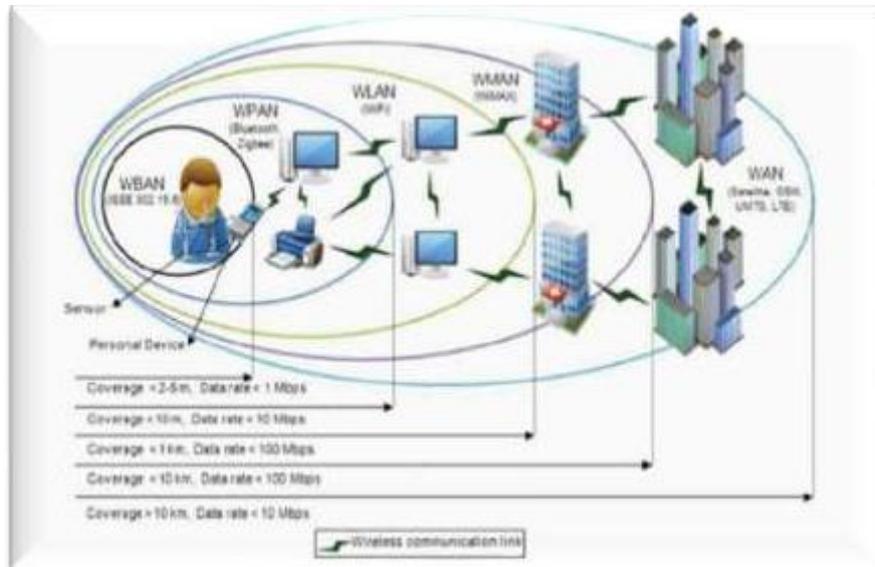


Figure I.4 : Les Technologies de communications sans fil. [10, 11].

I.2.6 Technologies LPWAN

Les techniques de réseaux étendus à faible consommation d'énergie (LPWAN) sont devenues très populaires dans les communautés industrielles et de recherche grâce à leur communication à longue portée et économe en énergie. Grâce aux protocoles efficaces adoptés, la durée de vie des nœuds finaux des techniques LPWAN est de l'ordre de quelques années au lieu de jours ou de mois [12]. Dans la suite de cet article, nous présentons les principales caractéristiques de quatre technologies LPWAN populaires : Lora, Sig Fox, INGENU RPMA, NB-IoT.

I.2.6.1 Lora

LoRa est une technologie LPWAN à couche physique développée et brevetée par Semtech Corporation. LoRa utilise sa propre technique de modulation à spectre étalé et fonctionne dans une bande sub-GHz industrielle, scientifique et médicale (UE 433MHz & 868MHz, Asie 430MHz et US 915MHz). LoRa utilise une technique appelée chirp spread spectrum (CSS) qui étale un signal à bande étroite sur une bande passante plus large, ce qui permet d'obtenir une communication bidirectionnelle. Comme le signal est étalé autour du

plancher de bruit, il est difficile pour les intrus de le détecter et ils sont incapables de faire la différence entre le signal réel et le bruit [13].

I.2.6.2 Sig fox

Sigfox est un type de technologie cellulaire qui fournit des solutions sur mesure qui permet aux appareils sans fil de se connecter à une station de base propriétaire en utilisant une connexion IP à très faible puissance et à faible débit de données. Il s'agit d'une technologie propriétaire qui est développée et maintenue par une société française Sigfox. Cette technologie utilise la technique de modulation BPSK pour la transmission. C'est un signal à bande ultra-étroite (petits morceaux de 100Hz) et les données sont encodées en changeant la phase d'onde porteuse permettant au récepteur de recevoir en petites tranches de spectre ce qui réduit l'effet du bruit augmentant ainsi sa portée et réduisant la consommation d'énergie. Comme LoRa, Sigfox utilise aussi les bandes de fréquences ISM pour la communication. Il fonctionne à 868 MHz en Europe et à 902 MHz aux États-Unis. Il a été dit par Sigfox qu'un million de terminaux peuvent être connectés à un point d'accès unique et ils peuvent fournir une couverture allant jusqu'à 3-10km dans les zones urbaines à un débit de 100bps et 30-50km dans les zones rurales. Les faibles débits binaires de transmission augmentent la latence de communication et la rendent vulnérable aux interférences avec d'autres technologies. Sigfox n'a pas mis en œuvre toutes les techniques pour éviter les collisions de paquets et étant une transmission ultra-bande étroite, il peut facilement souffrir d'interférences d'une technologie large bande Sub-GHz comme LoRa. D'autre part, les stations de base sont une plate-forme radio avancée qui peut recevoir des données sur plus de 8000 canaux à la fois. Sigfox envoie chaque message trois fois sur différentes fréquences de canal en s'assurant qu'il est reçu par au moins une des stations de base, ce qui donne une haute fiabilité de liaison montante. Sigfox peut envoyer 140 messages en liaison montante avec un maximum de 12 octets et peut recevoir 4 messages en liaison descendante de 8 octets par jour. Compte tenu des faibles débits de données et de la latence élevée, Sigfox convient aux applications qui nécessitent de faibles débits de données. Étant une technologie exclusive et fermée, les chercheurs externes disposent d'un minimum de liberté pour faire des innovations dans ce domaine [13].

I.2.6.3 INGENU RPMA

Ingenu est une technologie propriétaire du LPWAN qui fonctionne dans les bandes de fréquences ISM de 2,4 GHz, mais qui a une réglementation du spectre différente pour

différentes régions. Alors que d'autres technologies LPWAN s'appuient sur les propriétés des bandes de fréquences SUB-GHz pour une meilleure performance, Ingenu ne le fait pas. D'autre part, Ingenu n'impose pas et ne limite pas son cycle de service, ce qui contribue à accroître la capacité du réseau par rapport aux autres technologies utilisant la Bande SUB-GHz, augmentant encore le débit du réseau. Random Phase Multiple Access (RPMA) est le schéma d'accès aux couches physiques breveté et utilisé par Ingenu. RPMA fonctionne sur les lignes de Code Division Multiple Access (CDMA) en augmentant la durée des fentes d'accès pour chaque émetteur. Puis RPMA ajoute un décalage de délai aléatoire pour chaque émetteur et donc plusieurs émetteurs sont capables pour accéder au canal. Ceci aide à réduire le chevauchement entre le signal de l'émetteur, augmentant encore le rapport interférence-signal de chaque liaison. L'émetteur RPMA peut régler sa propre puissance de transmission afin de pouvoir se connecter à la station de base disponible la plus proche et de limiter son interférence avec les autres appareils voisins. Pour recevoir des messages en liaison descendante, Ingenu utilise plusieurs démodulateurs pour décoder et recevoir les signaux entrants. Pour assurer la communication descendante, la station de base utilise l'AMRC pour diffuser le signal reçu par les dispositifs d'extrémité. La sensibilité du récepteur pour RPMA peut aller jusqu'à -142dBm et 168 dB en bilan de liaison [13].

I.2.6.4 NB-IoT

Narrow Band IoT (NB-IoT) est une technologie radio à bande étroite LPWAN développée et normalisée par le projet de partenariat de 3e génération (3GPP). Cette norme utilise des bandes de communication cellulaire pour connecter des dispositifs IoT et est l'une des nombreuses technologies internet mobiles des objets (MIoT) conçues et normalisées par 3GPP. Il existe trois modes de fonctionnement pour l'IdO-NB :

- **Autonome** : Le signal lui-même agit comme un transporteur spécialisé.
- **En bande** : Attribution d'un bloc dans le signal de l'entreprise LTE.
- **Bande de garde** : Attribution d'un bloc dans la bande de garde du signal de porteuse LTE.

En mode autonome, le signal NB-IoT occupe un GSM de 200 kHz entier portée des signaux porteurs. En mode en bande et en bande de garde, NB-IoT est mis en œuvre en tant que bloc de ressources physiques (PRB) de 180 kHz à l'intérieur du signal porteur LTE. NB-IoT réduit au minimum les fonctionnalités du protocole LTE et les modifie pour les adapter aux cas d'utilisation de l'IoT. Cette modification effectuée par NB-IoT à la fonctionnalité LTE est avec le système dorsal qui est utilisé pour envoyer des informations aux périphériques finaux. Depuis

la radiodiffusion consomme l'énergie de la batterie qui est critique en cas d'appareils IoT, la fréquence d'envoi des données et aussi sa taille est réduite au minimum. La communication est optimisée pour répondre à l'objectif de l'IoT et les fonctionnalités telles que l'agrégation des opérateurs, la connectivité double qui ne sont pas nécessaires pour les appareils IoT sont évitées. NB-IoT utilise la modulation QPSK et utilise l'Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) pour la transmission en liaison descendante et la Frequency Division Multiple Access (FDMA) pour la communication en liaison montante. La taille maximale des paquets de données pour NB-IoT est de 1600 octets avec un débit de données en liaison montante de 20kbps et un débit de données en liaison descendante de 200kbps. Dans une transmission à raison de 200 octets par jour, l'IdO-NB peut avoir une autonomie de 10 ans [13].

I.2.7 Caractéristiques et exigences des WBANs

Caractéristique	Description	
Type de nœud	Fonctionnalité (16, 18, 19)	Dispositif personnel (PD) Capteur Actionneur
	Implémentation (IEEE802.15.6)	Dans le corps (In-body)
		Sur le corps (On-body)
		Autour de corps (body)
	Role	Coordinateur
		Fin (End)
Relais (Relay)		
Nombre de nœuds	Dans les standards IEEE	De quelques-uns communiquant avec un Sink à dizaines à des centaines communiquant avec une passerelle vers l'Internet
	Dans une application médicale	6 à 256 nœuds
	Dans une portée de 3m	Jusqu'à 10 piconets par personne avec 256 nœuds pour chaque piconet dans un cube de 6m ³
	Adresse WBAN [WBAN ID]	1 Octet x00 à xFF (0 - 255)
Débit	ECG	71 à 288 kb/s
	EMG	43.2 kb/s
	EEG	320 kb/s
	Blood saturation	16 b/s
	Glucose monitoring	1600 b/s
	Température	120 b/s
	Motion sensor	35 kb/s
	Cochlear implant	100 kb/s
	Artificial retina	50-700 kb/s
	Audio	1 Mb/s

Energie	Voice	50-100 kb/s
	Captage	Une combinaison de faible consommation d'énergie et de récupération d'énergie (générateur thermoélectrique (TEG) [40]) est la solution optimale pour atteindre un WBAN autonome [9, 39].
Autonomie et Convivialité	Auto-organisation	<ul style="list-style-type: none"> • Chaque fois qu'un nœud est mis sur le corps et allumé, il devrait être en mesure de rejoindre le réseau et mettre en place des routes sans aucune intervention extérieure. • Le problème de l'adressage des nœuds : une adresse peut être configuré au moment de la fabrication (l'adresse MAC) ou au moment de l'installation par le réseau lui-même.
	Auto entretien	<ul style="list-style-type: none"> • En outre, le réseau devrait être rapidement reconfiguré, pour ajouter de nouveaux services. • Lorsqu'un itinéraire échoue, un chemin de secours devrait être mis en place.
	L'emplacement exact d'un nœud	<ul style="list-style-type: none"> • Par exemple un capteur cardiaque doit évidemment être placé dans le voisinage du cœur, un capteur de température peut être placé presque partout.
Sécurité et confidentialité	Mobilité.	<ul style="list-style-type: none"> • Micro-mobilité (interne): Mouvement des organes de corps. • Macro-mobilité (externe) : mouvement de corps entier (a marche, la course)
		<ul style="list-style-type: none"> • Cryptage de données dans les WBANs et sur l'internet. • Authentification. • Accessibilité de réseau.

Tableau I.2 : Caractéristiques et exigences de WBAN[3].

I.2.8 Applications WBANs

Il existe plusieurs applications médicales pour la surveillance de la santé des patients en général et des personnes âgées en particulier. Lorsque ces applications sont explorées, nous observons que les catégories principales cibles sont [14] :

- La surveillance des activités de la vie quotidienne.
- La détection de chute et du mouvement.

- Le suivi de prise des médicaments.
- La localisation des patients ou de l'équipe médicale.
- La surveillance de l'état de santé.
- La bio-surveillance.
- La prédiction des maladies.

I.2.8.1 La surveillance des activités de la vie quotidienne

Dans cette catégorie, les applications tentent d'aider les personnes âgées à domicile pour améliorer leur qualité de vie. Des capteurs observent les activités quotidiennes de ces personnes et partagent les données observées avec l'équipe médicale, où les données seront traitées et analysées [15]. Les données peuvent fournir des indices sur la santé des personnes et permettre aux équipes médicales d'intervenir si nécessaire.

I.2.8.2 La détection de chute et du mouvement

Les applications de détection de chute et du mouvement sont axées sur les conditions physiologiques telles que la posture et la détection de chute pour les personnes qui ont besoin de soin particulier. Par exemple, les personnes âgées qui sont sensibles à la chute soudaine qui peut entraîner leur mort ou bien les patients en convalescence après une opération [14].

I.2.8.3 Le suivi de prise des médicaments :

La non prise des médicaments est fréquente chez les personnes âgées et les malades ayant des maladies chroniques, en particulier lorsque des déficiences cognitives sont présentés. Par conséquent, la surveillance et le rappel de prise des médicaments pour ce genre de malades est très important car il peut les aider à survivre d'une manière indépendante [14].

I.2.8.4 La localisation des patients ou de l'équipe médicale :

Dans les systèmes de surveillance médicale, les applications de localisation peuvent être utilisées pour aider les personnes souffrant de troubles cognitifs. Ils peuvent également être utilisés pour identifier les emplacements des patients en cas de situations d'alerte telles que des convulsions. De plus, dans les hôpitaux, les systèmes de suivi peuvent être utilisés pour surveiller où les patients se rendent pour identifier les infections nosocomiales ou localiser les médecins et les ambulanciers dans les situations d'urgence. Une autre situation médicale est une situation d'urgence ou de catastrophe. Les gens sont équipés de petits badges sans fil qui peuvent

guider les équipes de secours et les médecins pour gérer plus efficacement plus de victimes [15]. Par exemple, les sauveteurs qui arrivent les premiers dans une zone sinistrée ou une zone avec un grand nombre de victimes placeront un capteur sans fil sur chaque patient. Ce capteur peut envoyer les signes vitaux et l'emplacement de chaque patient au près.

I.2.8.5 La surveillance de l'état de santé :

Le suivi de la santé des patients est le type d'application le plus étudié dans le système de santé universel. Couramment utilisé pour obtenir des signes vitaux. Les informations complètes sur l'état de santé du patient sont : ECG, EEG, incidence respiration, oxymétrie de pouls, température corporelle, fréquence cardiaque, tension artérielle ... [14], [15], [16], [17]. Dans les scénarios de soins hospitaliers ou à domicile, les patients sont équipés de micro capteur sans fil portable pour mesurer les signes vitaux. Cela permettra aux médecins et aux infirmières de surveiller constamment la santé des patients et réagissent aux changements dont l'insuffisance respiratoire, l'arrêt cardiaque, etc. La surveillance de la glycémie à l'aide de capteurs sans fil implanté sous la peau d'un patient peut aider l'équipe médicale à gérer sa glycémie diabétique et prédire son besoin en insuline. De plus, l'insuline peut être injectée automatiquement lorsqu'un certain seuil de glycémie est atteint [16]. Pour des millions de personnes asthmatiques dans le monde [16], les crises d'allergie et des attaques soudaines peuvent constituer une grave menace pour leur vie. Un système de réseau de capteurs sans fil peut les aider en leur montrant des nœuds capteurs capables de détecter les allergènes dans les airs et d'une manière ou d'une autre signaler l'état au médecin et/ou au patient d'une manière permanente. Les maladies cardiovasculaires provoquent des décès massifs dans les pays développés. La plupart de ces décès auraient pu être évités s'il y avait eu un médecin qui surveille l'état actuel du patient. Les nœuds de capteurs sont implémentés sur le corps des patients de manière discrète pourront envoyer des informations importantes sur Arythmie vers le personnel médical, ce qui leur permet de se préparer et de surveiller la santé du patient en même temps jusqu'au traitement nécessaire. Pour les patients qui ont subi une intervention chirurgicale ou un traitement à l'hôpital ; avec des périodes de récupération plus longues à domicile, les systèmes de capteurs portables peuvent surveiller ces patients et fournir des évaluations précises pour guider le déroulement du traitement de récupération.

I.2.8.6 La Bio-surveillance :

Une autre application médicale des systèmes de capteurs sans fil est la bio-surveillance, où un ensemble de capteurs peut collecter et examiner des échantillons dans l'air, le sol ou l'eau pour prédire la propagation épidémiologique de la maladie. Ceci permet aux responsables de l'état et aux agences de santé de réagir rapidement avec une série de mesures en action d'urgence [14].

I.2.8.7 La prédiction des maladies :

Des études ont montré que les cellules cancéreuses libèrent de l'oxyde nitrique, affecte le sang dans la zone autour de la tumeur. Les capteurs avec leur capacité de détection de ces changements dans le sang ont la capacité d'identifier les cellules cancéreuses ce qui permet aux médecins de diagnostiquer les tumeurs [15].

I3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous présentons l'état de l'art des réseaux de capteurs corporels sans fil. Après avoir fait une définition des WBANs et d'un capteur médical, nous avons présenté l'architecture de communication et les différentes topologies utilisées pour le déploiement des réseaux WBAN. Ensuite, nous avons parlé des différents protocoles de communications sans fil et des technologies LPWAN qui peuvent être utilisés dans les WBANs et nous avons aussi décrit les caractéristiques et les exigences des WBANs. Finalement, nous avons présenté plusieurs domaines d'applications de surveillance et de détection médicale de ces réseaux. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter quelques protocoles de routage dans les réseaux WBANs et leur principales contraintes et défis.

Chapitre 2 :

Classification des

protocoles de routage dans

les réseaux WBAN.

II.1 Introduction

La fiabilité et l'efficacité du WBAN dépendent de la rapidité et de la précision avec laquelle le système réagit pour envoyer et recevoir les données entre les nœuds, ce qui dépend éventuellement des protocoles ou algorithmes de routage sélectionnés. Le processus d'envoi d'informations à partir d'un nœud de capteur intégré ou intégré au corps comprend le rayonnement émis par les émetteurs-récepteurs sans fil qui est similaire aux WSN. Bien que les protocoles de routage utilisés dans les WSN soient à l'étude depuis quelques années, ces protocoles ne peuvent pas être utilisés pour les WBAN en raison de leurs exigences strictes.

Pour les WSN, l'accent est mis sur une surcharge de routage minimale et un débit maximal plutôt que sur une consommation d'énergie réduite. De plus, les WSN sont pour la plupart des réseaux homogènes, les WBAN sont également hétérogènes.

Dans ce chapitre, une revue complète des protocoles de routage récents existants est discutée. La classification des protocoles de routage existants est expliquée.

II.2 Défis du routage dans les WBAN

II.2.1 Mouvements du corps postural

La mobilité des nœuds, la gestion de l'énergie et les obstacles environnementaux augmentent la dynamique des réseaux WBAN, notamment les changements fréquents de la topologie et des composants réseau qui intensifient la complexité de la qualité de service (QoS). En outre, la qualité de liaison entre les nœuds dans les réseaux WBAN varie en fonction du temps en raison de divers mouvements du corps [18]. Par conséquent, l'algorithme de routage proposé doit s'adapter aux différents changements de topologie. À cet égard, les auteurs d'ont considéré que les réseaux WBAN appartiennent à la catégorie des réseaux à tolérance de retard (DTN) en raison de leur déconnexion et de leur cloisonnement fréquent résultant de mouvements corporels post-culturels. De plus, les segments du corps et les vêtements entraînent un blocage du signal qui intensifie l'atténuation RF. Plus précisément, le modèle de mobilité dans les WBAN change avec l'ordre des mouvements dans les dizaines de centimètres alors que l'échelle de mobilité dans les WSN est de l'ordre des mètres et des dizaines de mètres.

II.2.2 Élévation de température et interférences

En termes d'énergie disponible et de puissance de calcul, le niveau d'énergie des nœuds doit être pris en compte dans le protocole de routage proposé. En outre, afin de minimiser les interférences et d'éviter le chauffage des tissus, la puissance de transmission des nœuds doit être extrêmement faible [19].

II.2.3 Sensibilisation à l'énergie locale

Le protocole de routage proposé doit disperser ses données de communication entre des nœuds dans le réseau pour équilibrer la consommation d'énergie et minimiser les défaillances de drainage d'alimentation de batterie.

II.2.4 Durée de vie du réseau global

La durée de vie du réseau dans WBAN est appelée l'intervalle de temps entre le début du réseau et le moment où le réseau est considérablement endommagé, ce qui conduit à un partitionnement du réseau de sorte que la destination ne peut pas être atteinte. Comme il n'est pas possible de remplacer et de charger la batterie dans les dispositifs médicaux implantés, la durée de vie du réseau est plus importante dans les réseaux WBAN que dans les réseaux PAN et WSN [20].

II.2.5 Gamme de transmission efficient

La faible portée de transmission RF dans les réseaux WBAN entraîne des cloisonnements et des déconnexions fréquentes entre les capteurs dans les réseaux WBAN, ce qui donne des résultats similaires à ceux des réseaux DTN [21]. Dans les cas où la portée de transmission des capteurs est inférieure à une valeur seuil, il y a moins de choix pour l'acheminement vers les capteurs adjacents, ce qui entraîne un nombre plus élevé de transmissions qui provoque une augmentation globale de la température. De plus, moins il y a de voisins, moins il y a de chances que les paquets arrivent à destination dans un certain nombre de sauts. Ainsi, les paquets mettront plus de temps à arriver à destination, ce qui entraîne une augmentation moyenne de la température globale [22].

II.2.6 Limitation du nombre de sauts de paquets

Selon le projet de norme IEEE802.15.6 pour les WBAN [23], la communication à un ou deux sauts est autorisée dans les WBAN. Alors que les transmissions multi-sauts permettent de renforcer les liens, ce qui entraîne une augmentation globale de la fiabilité du système, plus le nombre de sauts est élevé, plus la consommation d'énergie est importante [24]. Cependant, la limitation du nombre de sauts n'a pas été prise en compte dans la plupart des protocoles de routage des réseaux WBAN. En outre, les dispositifs semi-duplex des réseaux WBAN réduisent la largeur de bande au fur et à mesure que des sauts successifs sont introduits.

II.2.7 Environnement hétérogène

Les applications spécifiques des réseaux WBAN peuvent nécessiter la collecte de données hétérogènes provenant de différents capteurs avec des taux d'échantillonnage différents. Par conséquent, la prise en charge de la qualité de service dans les réseaux WBAN peut être assez difficile.

II.2.8 Limitation des ressources

La capacité de données, l'énergie et la durée de vie des dispositifs WBAN sont strictement limitées en raison du petit facteur de forme requis par les WBAN. En raison de la limitation des ressources disponibles dans les WBAN, les nœuds WBAN sont voués à tomber en panne en raison de l'indisponibilité de la batterie, de la mémoire et de la limitation de la largeur de bande, ce qui constitue une menace importante pour la qualité de service. Les protocoles de routage dans les WBAN peuvent être classés en cinq groupes en fonction de leur emplacement, de la structure du réseau, de la température, de la couche et des mesures de qualité de service.

II.3 Classification des protocoles de routage dans les WBANs

La classification des protocoles de routage peut être effectuée dans différentes catégories qui correspondent aux défis de routage du WBAN. La section suivante donne un aperçu des protocoles existants, qui peuvent être classés en algorithmes de routage basés sur les clusters, multicouches, basés sur les mouvements posturaux, sensibles à la qualité de service (QoS) et sensibles à la température [25] comme illustré à la Figure II-1 :

Chapitre 2. Classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN.

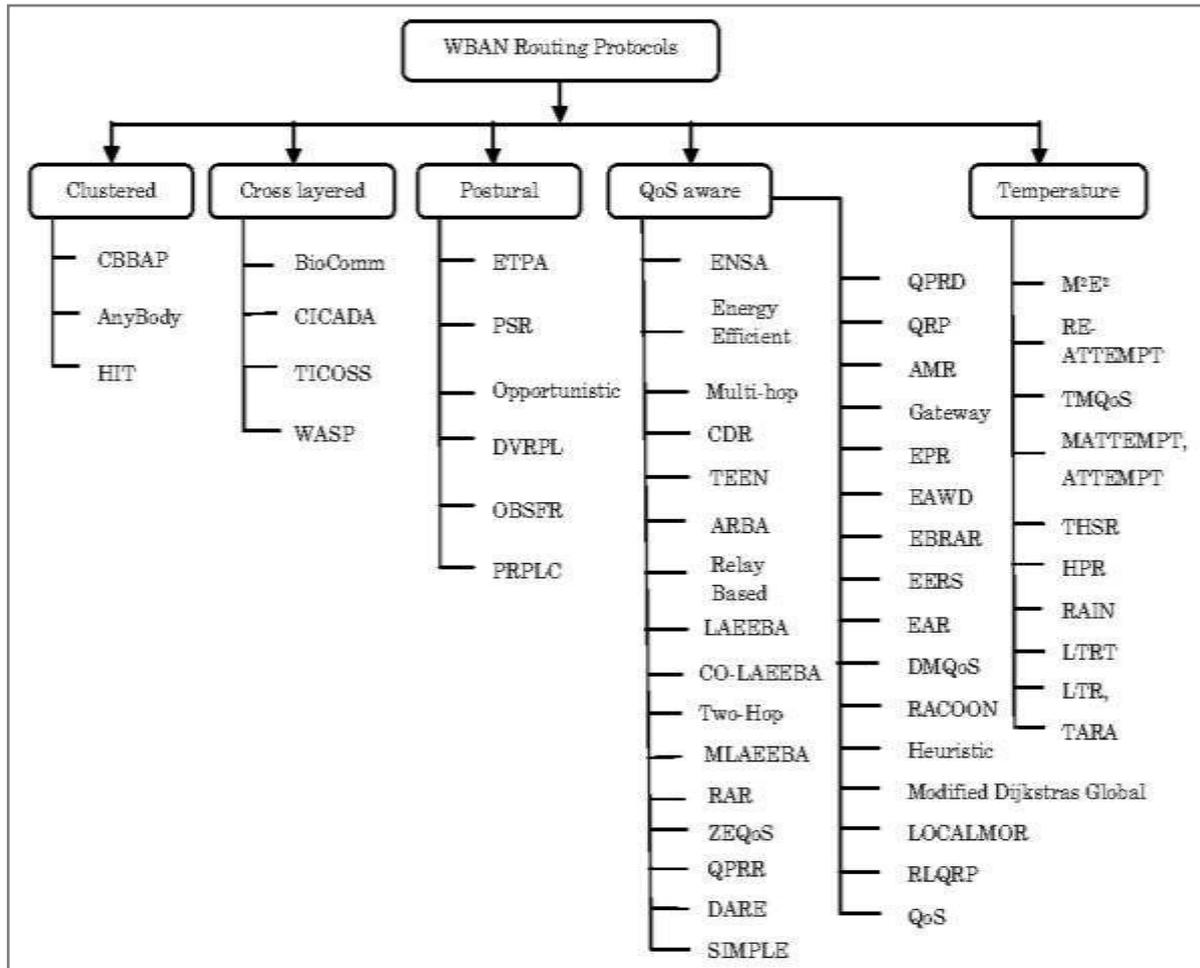


Figure II-1 : Classification des protocoles de routage.

II.3.1 Protocoles de routage basés sur des clusters

Dans les WSN et les WBAN, la source d'énergie limitée est la principale contrainte à analyser. Par conséquent, plusieurs schémas efficaces basés sur des grappes sont proposés pour les deux réseaux afin de minimiser la consommation d'énergie et de maximiser la durée de vie du réseau [26]. En comparant la transmission indirecte hybride à la collecte économe en énergie (HIT) [27] dans les systèmes d'information à capteurs et la hiérarchie adaptative de regroupement à basse énergie (LEACH) [28], elle consomme moins d'énergie si le nombre de nœuds est faible. Cependant, le protocole AnyBody [29] est meilleur que LEACH, car le nombre de clusters reste constant avec une augmentation du nombre de nœuds, mais LEACH ne le fait pas. En outre, le coût d'installation est également moindre avec AnyBody. Le tableau II-1 présente une vue d'ensemble des protocoles existants basés sur des clusters :

Chapitre 2. Classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN.

Protocole	But	Indicateurs de performances	Comparé a
Cluster based body area protocol (CBBAP) [28]	Améliorer l'efficacité énergétique globale du WBAN.	Débit, énergie résiduelle, nombre de nœuds actifs.	LEACH.
AnyBody protocol [29]	Diviser le réseau en clusters et envoyer efficacement des paquets de la source au puits.	Nombre de clusters, taille moyenne des clusters, nombre de messages transmis à configurer.	LEACH.
Hybrid indirect transmission (HIT) [27]	Pour maintenir une plus longue durée de vie du réseau.	Longévité du réseau, retard du réseau, dissipation d'énergie moyenne, dissipation d'énergie moyenne \times produit moyen du retard.	LEACH, PEGASIS, direct.

Tableau II.1 : Protocoles de routage en cluster dans les réseaux corporels.

II.3.2 Protocoles de routage inter couches (cross layer)

Ces protocoles utilisent le concept de cross layering [30] qui est déjà abordé dans les WSN, où chaque couche (adjacente ou non) de la pile de protocoles partage ses informations contrairement au modèle strict en couches. Dans les WBAN, nous pouvons utiliser le concept de couches croisées entre les couches réseau et de contrôle d'accès au support (MAC) pour le routage et ainsi améliorer les performances globales du réseau. Le tableau II-2 montre les différents protocoles de routage inter couches. Compte tenu de l'analyse détaillée des protocoles multicouches, la récupération d'informations en cascade en contrôlant l'accès avec attribution de créneaux distribués (CICADA) [31] et la planification du sommeil coordonnée par fuseau horaire (TICOSS) [32] consomment moins d'énergie. Le protocole d'arbre couvrant autonome sans fil (WASP) [33] a un meilleur taux de livraison de paquets et CICADA a moins de retard.

Chapitre 2. Classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN.

Protocole	But	Indicateurs de performances	Comparé a
Biocomm and Biocomm-D [33]	Optimiser les performances globales du réseau.	Augmentation maximale de la température, consommation d'énergie moyenne, délai de livraison des paquets, pourcentage de paquets injectés abandonnés, débit réseau cumulé.	Routage de saut le plus court, routage préventif de point d'accès.
Cascading information retrieval by controlling access with distributed slot assignment (CICADA) [31]	Pour introduire moins de retard et Une faible consommation d'énergie.	Délai de bout en bout.	-
Time zone coordinated sleep scheduling (TICOSS) [32]	Améliorer le 802.15.4 grâce à la division du réseau en fuseaux horaires.	Durée de vie du réseaux.	IEEE 802.15.4 without TICOSS.
Wireless autonomous spanning tree protocol (WASP) [33]	Pour réduire la consommation d'énergie, le retard du réseau et le taux de perte de paquets.	Délai de bout en bout	CSMA avec routage fixe.

Tableau II.2 : Protocoles multicouches dans les réseaux corporels.

Chapitre 2. Classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN.

II.3.3 Protocoles de routage compatibles QoS

Actuellement, il existe un certain nombre de protocoles compatibles QoS disponibles dans les WSN, qui ne peuvent pas être implémentés en tant que tels dans les WBAN, mais en tenant compte de leurs limites uniques, c'est possible. Dans les WBAN, différents types de données nécessitent différentes QoS [34]. Par conséquent, les protocoles proposés doivent être conscients des différents types de métriques de QoS pour différents types de données. Les différents protocoles de routage compatibles QoS sont présélectionnés comme indiqués dans le tableau II-3.

L'analyse comparative a montré que le protocole de routage d'appairage conscient de l'énergie (EPR) [35], de la qualité de service pour les données sensibles au délai (QPRD) [36] et de la qualité de service pour les données sensibles à la fiabilité (QPRR) [37] consomment moins d'énergie que d'autres protocoles. Certains protocoles ne tiennent pas compte de la consommation d'énergie, tandis que d'autres. L'un des protocoles sensibles à la qualité de services les plus utilisés est le protocole de routage sensible à la qualité de service multi-objectifs centré sur les données (DMQoS) [38] car il peut réduire le délai pour les informations sensibles au délai et, de la même manière, il peut fournir un routage fiable pour les informations fiables et sensibles. Les autres protocoles compatibles QoS sont utilisés ou sélectionnés pour un réseau particulier, selon le type de donnée et ses exigences QoS.

Protocole	But	Indicateurs de performances	Comparé a
Energy-aware peering routing protocol (EPR) [35]	Pour améliorer la fiabilité du BAN et réduire le trafic réseau et la consommation d'énergie.	Charge de trafic, énergie consommée et économisée, débordement de tampon, paquets transmis et reçus.	DMQoS.
QoS-aware peering routing protocol for delay sensitive data (QPRD) [36]	Pour réduire le délai de bout en bout.	Charge de trafic, taux de transmission réussi, délai d'expiration du nombre de paquets.	DMQoS.

Chapitre 2. Classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN.

QoS aware peering routing protocol for reliability sensitive data (QPRR) [37]	Pour améliorer la livraison fiable des données BAN d'urgence pour la communication hospitalière intérieure.	Taux de transmission réussi, charge de trafic réseau, consommation d'énergie globale, latence.	DMQoS, NoRouting.
Data-centric multi objective QoS-aware routing protocol (DMQoS) [38]	Pour obtenir les meilleurs services QoS pour différents types de données.	Délai moyen de bout en bout, consommation d'énergie moyenne par paquet, surcharge d'énergie de fonctionnement.	MMSPEED LOCALMOR DARA.
Threshold sensitive energy efficient sensor network protocol (TEEN) [45]	Pour surveiller et enregistrer les données critiques des paramètres corporels du patient.	Consommation d'énergie, taux de fausse acceptation, taux de faux rejet, temps passé.	-
Link-aware and energy efficient scheme for body area networks (LAEBA) [46]	Pour acheminer les données avec une perte de chemin minimale sur le lien dans le WBAN.	Période de stabilité, énergie résiduelle, durée de vie du réseau, perte de chemin, propagation de retard, débit.	SIMPLE, M- ATTEMPT.
Zahoor energy and QoS-aware routing protocol (ZEQoS) [47]	Fournir une meilleure QoS en sélectionnant les meilleurs chemins de routage.	Consommation d'énergie, taux de transmission réussi, paquets transmis et reçus.	DMQoS, NoRouting.

Tableau II.3 : Protocoles de routage sensibles à la QoS dans les réseaux corporels.

Chapitre 2. Classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN.

II.3.4 Protocoles de routage sensibles à la température

Le rayonnement de l'antenne, son absorption et ses interférences sont les principaux défis à prendre en compte lors de la conception d'un réseau de capteurs corporels, car les champs rayonnés provoquent une élévation de température des circuits électroniques du nœud. Le champ de rayonnement a également un fort impact sur le corps humain [39] qui peut endommager les tissus humains en raison de son exposition continue. L'objectif de tous les protocoles sensibles à la température est de réduire l'augmentation de la température des nœuds de capteurs internes en évitant le routage via des points chauds. Le tableau II-4 présente les protocoles sensibles à la température existante. De la comparaison des différents protocoles, on voit que LTRT [40] fonctionne bien mieux que d'autres tandis que TARA [41] fonctionne moins bien. En termes d'élévation de température, HPR [42] montre moins d'élévation de température par rapport aux autres. Enfin, le dernier protocole M²E² [43] a prouvé qu'il est le meilleur parmi tous les protocoles sensibles à la chaleur, adapté aux réseaux de capteurs corporels hétérogènes, multimodes et économes en énergie.

Protocole	But	Indicateurs de performances	Comparé a
M²E² protocol [43]	Pour réduire la consommation d'énergie et augmenter la durée de vie, pour réduire le réseau de points d'accès de liaison dans les WBSN hétérogènes	Paquets envoyés à BS, nombre de nœuds morts, énergie totale du réseau, nombre de cluster head.	M-ATTEMPT.
Thermal-aware multi constrained intra body QoS routing protocol (TMQoS) [48]	Pour garantir les demandes de QoS requises tout en maintenant la température de chaque nœud à un niveau souhaitable.	Efficacité énergétique, échauffement moyen, fiabilité des retards, échauffement	LTRT, TARA.

Chapitre 2. Classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN.

		maximal, délais de livraison des paquets.	
Thermal-aware shortest hop routing algorithm (THSR) [49]	Réduire la température du nœud Et empêcher la formation de points chauds.	Élévation maximale de la température, délai moyen, pertes de paquets.	LTR, SHR, HPR, TARA.
Hotspot preventing routing (HPR) algorithm [42]	Empêcher la formation de hotspots et réduire le délai moyen de livraison des paquets.	Augmentation maximale de la température de n'importe quel nœud, délai moyen de livraison des paquets, nombre total de paquets abandonnés.	TARA, SHR.
Least total-route temperature routing protocol (LTRT) [40]	Réduire la température causée par les capteurs biomédicaux implantés dans le corps humain.	Augmentation moyenne de la température et nombre de sauts par paquet d'arrivée.	LTR, ALTR.
Least temperature routing protocol (LTR), adaptive least temperature routing protocol (ALTR) [50]	Réduire la quantité de chaleur produite dans le réseau.	Échauffement moyen, délai, consommation électrique, pertes de paquets, durée de vie des réseaux.	TARA, SHR.
Thermal-aware routing algorithm (TARA) [41]	Pour estimer la variation de température des nœuds voisins et des	Élévation de température maximale, élévation de température	Shortest hop.

Chapitre 2. Classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN.

	paquets directs à proximité de la région du hotspot.	moyenne, performances de retard.	
--	--	----------------------------------	--

Tableau II.4 : Protocoles de routage sensibles à la température dans les réseaux corporels.

II.3.5 Protocoles de routage basés sur le mouvement postural

Les mouvements posturaux du corps affectent la topologie du réseau, ce qui entraîne une déconnexion du lien. Les chercheurs ont introduit une fonction de coût qui est périodiquement mise à jour pour choisir la meilleure route pour acheminer les paquets vers le puits. Les protocoles répertoriés dans le tableau II-5 sont les protocoles de routage basés sur le mouvement postural existants. Parmi les protocoles discutés, on-body store et flood routing (OBSFR) [44] a de meilleures performances pour réduire le délai de livraison des paquets, mais le protocole de routage basé sur le mouvement postural opportuniste a une consommation d'énergie plus faible que les autres.

Protocole	But	Indicateurs de performances	Comparé a
Energy efficient thermal and power aware routing (ETPA) [51]	Réduire la température du nœud et empêcher la formation de points chauds.	Nombre de sauts de paquets, taux de livraison des paquets, retard des paquets, augmentation moyenne de la température des nœuds du réseau, évolutivité, temps d'épuisement de la mobilité du premier nœud	PRPLC.
Prediction based secure and reliable routing	Pour fournir un routage sécurisé et fiable à partir de	Taux d'abandon de paquets, coût d'authentification.	Backbone protocol.

Chapitre 2. Classification des protocoles de routage dans les réseaux WBAN.

framework (PSR) [52]	diverses attaques de données.		
Opportunistic routing [53]	Pour augmenter la durée de vie du réseau à partir du mouvement des parties du corps.	Consommation d'énergie moyenne par bit.	Single hop, multi hop.
Distance vector routing with postural link costs (DVRPLC) [54]	Pour réduire les délais de bout en bout.	Délai moyen, taux de livraison des paquets, nombre de sauts de paquets	Probabilistic protocol (PROPHET), opportunistic protocol, UTILITY
On-body store and food routing (OBSFR) [44]	Pour fournir un meilleur délai de routage et un meilleur nombre de sauts.	Délai de paquet de bout en bout (PD), nombre de transmissions par paquet (NTPP), taux de livraison de paquets (PDR).	PROPHET, on-body store et food routing (OBSFR).
Probabilistic routing with postural link costs (PRPLC) [55]	Pour réduire les délais de bout en bout.	Délai moyen, taux de livraison des paquets.	PROPHÈTE, OBSFR.

Tableau II.5 : Protocoles de routage postural dans les réseaux corporels.

II.4 Conclusion

Le réseau corporel sans fil fait partie du réseau de capteurs sans fil, avec un certain nombre de nœuds déployés à l'intérieur et à la surface du corps humain pour mesurer différents paramètres biologiques pour une application particulière. On voit que le protocole de routage joue un rôle vital dans le processus de conception de tous les réseaux de capteurs corporels sans fil efficaces, fiables et à faible coût. Sur la base de la structure et de la nature des réseaux, les protocoles de routage pour les WBAN sont classés en tant que protocoles basés sur les clusters, multicouches, basés sur les mouvements posturaux et sensibles à la température et à la qualité de service. On constate qu'il y a aucune classification stricte des protocoles n'est possible puisque la plupart d'entre eux visent ou aboutissent à relever les défis des réseaux de capteurs. Il est également conclu que chaque protocole dépend de l'application, c'est-à-dire que les protocoles utilisés pour la surveillance quotidienne et les cas médicaux critiques sont différents. Aussi, une étude comparative de différents protocoles a été examinée afin de sélectionner un protocole approprié en fonction de l'application visée. Cette enquête profitera aux chercheurs pour étudier les protocoles de routage existants pour les WBAN dans le domaine des systèmes de santé.

Chapitre 3 :
Logique floue et techniques
de clustering dans les
Wbans.

III.1 Introduction

La logique floue, établie par Zadeh en 1965, permet la représentation et le traitement de connaissances imprécises ou approximatives. Le nombre d'applications basées sur la théorie de la logique floue a augmenté considérablement ces dernières années car cette logique est exprimée usuellement par des règles linguistiques de la forme Si –Alors. Elle est utilisée pour résoudre les problèmes de décision en contrôle ou pour décrire le comportement dynamique d'un système inconnu ou mal défini [56].

Ce chapitre sera consacré à la présentation des principes de bases de la logique floue et les méthodes de clustering dans les WBANs.

III.2 La logique floue

III.2.1 Définition de la logique floue

La logique floue était développée par le professeur Lotfi.A Zadeh en 1965 à partir de sa théorie des sous-ensembles flous. Donc, c'est une branche des mathématiques qui permet à un ordinateur de modéliser le monde réel de la même manière qu'une personne. Il s'accommode de la notion de vérité partielle : des valeurs comprises entre "complètement vrai et complètement faux " (de 0 à 1) sont autorisées. La logique floue est aussi appelée "logique linguistique" car sa valeur de vérité est l'expression usuelle : "plutôt vrai, presque faux, loin, si loin...". Elle a pour objectif l'étude de la représentation des connaissances et les raisonnements approchés.

La logique floue est alors une théorie qui nous permet de manipuler dans des conditions incertaines, des réalités dont la connaissance est imprécise [57].

III.2.2 Logique floue et logique classique

La logique classique est une partie des mathématiques relativement bien connue du public. C'est sur ce principe que fonctionnent les ordinateurs, les calculatrices et la plupart des machines numériques. En logique classique, les décisions sont binaires : vraies ou fausses. C'est à ce stade que la logique floue sera différenciée de la logique classique. En logique floue, une décision peut être vraie et fausse à la fois, avec un certain degré d'appartenance à chacune de ces deux croyances.

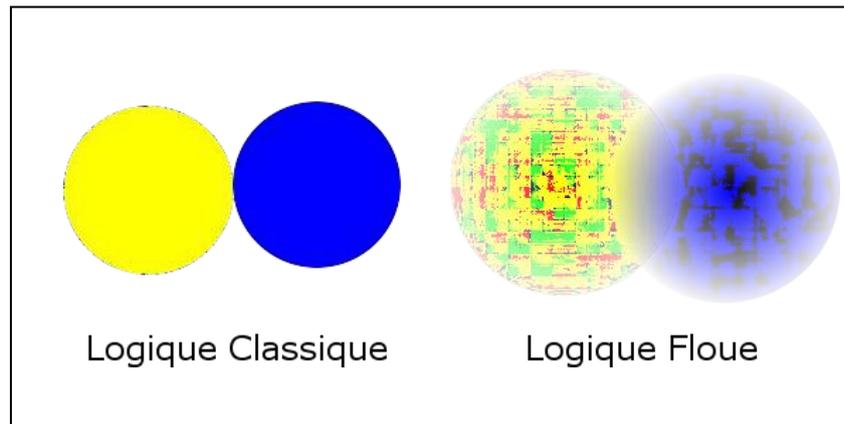


Figure III.1 : Logique floue et logique classique [58]

III.2.3 Intérêts de la logique floue

Dans la logique floue, les conditions peuvent être des états autres que vrai et faux, avec une flexibilité dans le raisonnement, les imprécisions et les incertitudes peuvent être prises en compte. De même, on peut raisonner non pas à partir de variables numériques, mais à partir de variables linguistiques, c'est-à-dire on peut raisonner à partir des variables qualitatives (grand, petit, moyen, éloigné, proche, fort, etc.). Ainsi, la logique floue permet de contrôler des systèmes complexes qui ne sont pas forcément modélisés de manière « intuitive ». Enfin, plus d'un système possède d'expertise humaine, plus nous pouvons ajouter des règles d'inférence au système.

III.2.4 Les sous-ensembles flous

Les sous-ensembles flous permettent de connaître le degré d'appartenance d'un élément à un sous ensemble ou à une classe (c.-à-d. d'autoriser un élément à appartenir plus ou moins fortement à cette classe, par exemple : un individu d'une taille donnée n'appartient pas du tout au sous ensemble des 'grand' s'il mesure 1.50m, il y appartient tout à fait s'il mesure 1.80m). Un sous-ensemble A sur un univers de discours U est caractérisé par une fonction d'appartenance :

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1]$$

Où μ_A est le niveau ou le degré d'appartenance d'un élément de l'univers de discours U dans le sous-ensemble flou.

Une fonction d'appartenance est utilisée pour mapper un élément X dans le domaine des nombres réels vers un intervalle de 0 à 1, ce qui permet un degré de vérité.

L'appartenance à un ensemble représente une valeur entre 0 et 1. Un ensemble flou peut être défini comme un ensemble ayant des limites floues [59].

III.2.5 Les variables floues

La logique floue est basée sur des variables floues dites ‘variables linguistiques’ à valeurs linguistiques dans l’univers du discours U [60]. Chaque valeur linguistique constitue un ensemble flou de l’univers U.

Exemple :

- **Univers du discours** : gamme de température de 0°C à 200°C.
- **Variable linguistique** : la température.
- **Valeurs linguistiques** : très froid, froid, tiède, chaud, très chaud.

III.2.6 Système d’inférence floue de Mamdani

Le type de système d’inférence floue Mamdani SIFM peut être implémenté dans la boîte à outil de logique floue de MATLAB (Mathworks, 2004). Lorsque les fonctions d’appartenance de sortie sont des ensembles flous, le SIFM est la méthodologie floue la plus couramment utilisée. L’idée principale de la méthode Mamdani est de décrire les états du processus par des variables linguistiques et d’utiliser ces variables comme entrées pour contrôler les règles (Mamdani et Assilian, 1975). Dans le SIFM qui est un type particulier de système d’inférence floue, en plus de la base de connaissances et d’un moteur d’inférence floue, il existe un fuzzifier qui représente les entrées numériques comme un ensemble flou, et un défuzzifier qui transforme l’ensemble de sortie en un ensemble clair comme illustré dans la figure III-2. Un SIFM est constituée de 4 étapes :

- **La fuzzification** : permet de convertir des valeurs réelles en des valeurs floues (linguistiques) à partir des fonctions d’appartenance de chacun des sous-ensembles flous (sous forme de courbe).
- **Base des données** : les systèmes à logique floue utilisent une expérience exprimée sous forme d’une base des règles du type : (Si – Alors)
- **L’inférence** : consiste à utiliser un moteur d’inférence qui va déduire des valeurs de sortie floues à partir des valeurs d’entrée floues et des règles d’inférence (de commande) qui sont utilisées à partir d’une base de règles.
- **La défuzzification** : permet de convertir des valeurs floues en des valeurs réelles.

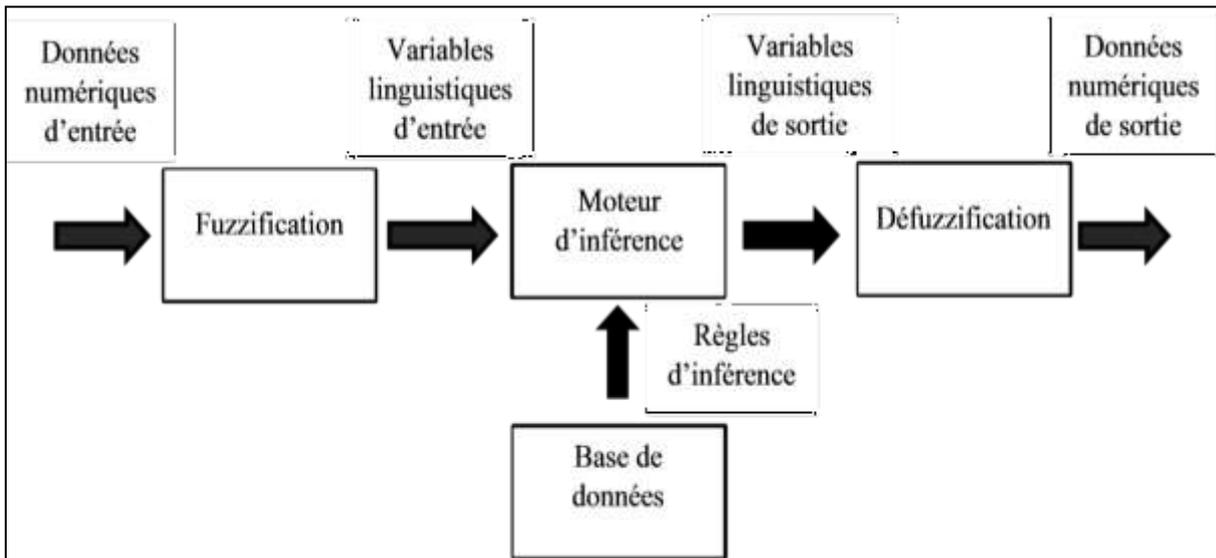


Figure III.2 : Principe de logique floue.

III.2.7 Définition des règles d'inférence ou règles floues

Les règles floues sont généralement de type "SI ALORS", et permettent de représenter les relations entre les variables d'entrée et de sortie.

Une règle floue est définie sous la forme suivante :

➤ **Simple :**

SI x est A ALORS y est B.

x est A => antécédent ou prémisse.

y est B => conséquent.

➤ **Composée :**

SI x1 est A1 et x2 est A2 et ... xn est An ALORS y est B.

III.2.8 Les opérateurs de logique floue

• **L'opérateur et logique :**

Intersection $\mu_x \cap \mu_y = \min \{ \mu_x, \mu_y \}$

• **L'opérateur ou logique :**

Union $\mu_x \cup \mu_y = \max \{ \mu_x, \mu_y \}$

III.2.9 Agrégation des règles floues

Cette étape consiste à combiner les règles d'inférence évaluées pour obtenir un seul polygone à partir de la fonction d'appartenance en sortie. En pratique, on utilise l'opérateur max :

$$\mu_B(y) = \max_{1 \leq i \leq N} (\mu_{\beta'}(y))$$

III.3 La technique de clustering dans les WBANs

III.3.1 Définition d'un cluster

Un cluster est constitué d'un ensemble de nœuds qui communiquent entre eux dans un réseau fermé. Un cluster est défini aussi par un ensemble de nœuds et il existe un nœud nommé nœud-chef ou Cluster Head (CH). Le rôle du CH est de relayer directement ou via d'autres CH entre les nœuds du cluster et la station de base.

III.3.2 Qu'est-ce que le clustering

C'est l'organisation de réseau en cluster, donc le regroupement des nœuds plus proche entre eux géographiquement en cluster. De manière générale, le partitionnement d'un réseau s'effectue sur le principe suivant : Les nœuds sont divisés en cluster, et certains nœuds, nommés chefs de cluster. L'ensemble des cluster-head est appelé l'ensemble dominant, c'est le backbone du réseau [60]. Dans les réseaux de capteur le clustering permet de regrouper les capteurs proches géographiquement en clusters et d'utiliser différents schémas de routage au sein des clusters et entre les clusters. Les membres d'un cluster sont les nœuds se trouvant à la portée du cluster-head. Le choix de ce dernier se base sur une métrique spécifique ou une combinaison de plusieurs métriques [61].

III.3.3 Communication intra-cluster et inter-cluster

Un objectif important de toute technique de clustering est de maintenir la connectivité dans le réseau. Les nœuds membres du cluster communiquent avec leurs chefs de cluster, qui à leur tour communiquent entre eux ou directement avec la station de base pour véhiculer les informations collectées par les nœuds capteurs. Pour la communication intra-cluster, les membres du cluster communiquent directement avec leur chef de cluster. Pour la communication inter-cluster, deux méthodes sont utilisées pour maintenir la connectivité [62]:

- Les nœuds aux limites des clusters agissent comme des passerelles pour retransmettre les données entre les têtes de cluster, ce qui est suffisant dans les réseaux utilisant une

puissance de transmission fixe. La densité du réseau doit être suffisamment élevée pour garantir qu'il existe suffisamment de passerelles aux intersections entre les clusters.

- Dans une autre approche, la superposition du cluster head constitue l'infrastructure.

Le routage de la communication inter-cluster est assuré uniquement par le chef de cluster. Un avantage de cette approche est qu'elle permet à tout nœud non chef de cluster de passer immédiatement en mode veille s'il n'est ni émetteur ni récepteur [62].

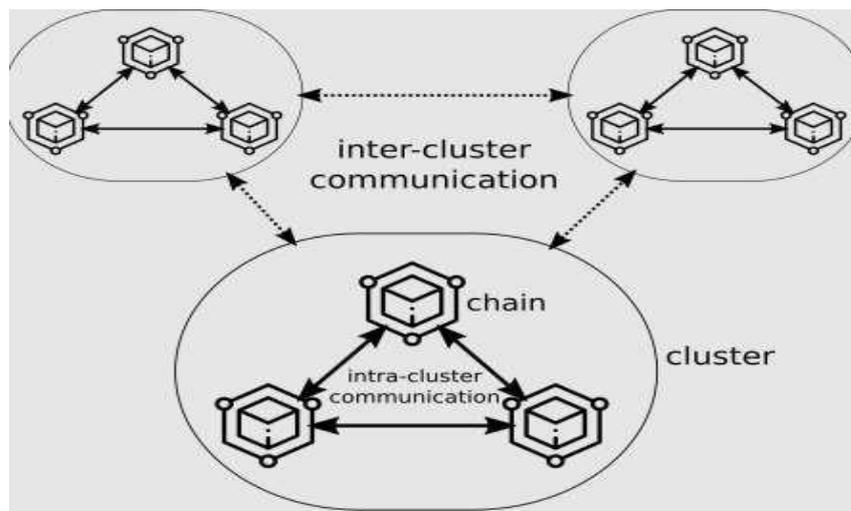


Figure III.3 : Principe de logique floue.

III.3.4 Clustering C-Means flou

Fuzzy c-means (FCM) est une technique de regroupement de données dans laquelle un ensemble de données est regroupé en N clusters, chaque point de données de l'ensemble de données appartenant à chaque cluster dans une certaine mesure. Par exemple, un point de données qui se trouve près du centre d'un cluster aura un degré élevé d'appartenance à ce cluster, et un autre point de données qui se trouve loin du centre d'un cluster aura un faible degré d'appartenance à ce cluster.

La fonction fcm effectue le clustering FCM. Elle commence par une estimation initiale aléatoire des centres des clusters, c'est-à-dire l'emplacement moyen de chaque cluster. Ensuite, fcm attribue à chaque point de données un degré d'appartenance aléatoire pour chaque cluster. En mettant à jour de manière itérative les centres de clusters et les notes d'appartenance pour chaque point de données, fcm déplace les centres de clusters à l'emplacement correct dans un ensemble de données et, pour chaque point de données, trouve le degré d'appartenance à chaque cluster. Cette itération minimise une fonction objective qui représente la distance entre un point

de données donné et un centre de cluster, pondérée par l'appartenance de ce point de données au cluster, cette fonction est définie comme suit :

$$\sum_{j=1}^k \sum_{x_i \in C_j} u_{ij}^m (x_i - \mu_j)^2$$

- u_{ij} : le degré d'appartenance d'une observation x_i à un cluster c_j .
- μ_j : le centre du cluster j .
- u_{ij} : le degré d'appartenance d'une observation x_i à un cluster c_j .
- m : le fuzzifier.

La variable u_{ij}^m est définie comme suit :

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

Le degré d'appartenance, u_{ij} , est lié inversement à la distance de x au centre du cluster. Le paramètre m est un nombre réel supérieur à 1 ($1 < m < \infty$) et il définit le niveau de flou du cluster. Notez qu'une valeur de m proche de 1 donne une solution de cluster qui devient de plus en plus similaire à la solution d'un clustering dur tel que les k-means, tandis qu'une valeur de m proche de l'infini conduit à un flou complet.

Dans le clustering flou, le centre de gravité d'un cluster est la moyenne de tous les points, pondérée par leur degré d'appartenance au cluster :

$$C_j = \frac{\sum_{x \in C_j} u_{ij}^m x}{\sum_{x \in C_j} u_{ij}^m}$$

Où,

- C_j est le centroïde du cluster j .
- u_{ij} est le degré d'appartenance d'une observation x_i à un cluster c_j .

III.3.5 Principe de construction de clusters

Il existe plusieurs manières de construire des clusters, les parcours les plus courants sont les suivants:

- Chaque nœud décide de devenir chef de cluster en fonction de ses propres connaissances locales de la topologie ou un critère interne tels que l'énergie résiduelle.
- Chaque cluster head diffuse son état chez ses voisins et invite les voisins qui n'a pas encore rejoint un autre cluster.

- Maintenance possible en cas de défaillance du cluster head ou de remplacement de la structure du cluster head.

III.3.6 Modèle énergétique

La consommation d'énergie se situe principalement au niveau de l'acquisition, du traitement et de la transmission des données. Les recherches sur les réseaux de capteurs montrent que la phase de communication est la plus consommatrice d'énergie. Étant donné que l'énergie des capteurs n'est pas renouvelable, les opérations de capture, de traitement et d'acheminement doivent être correctement évaluées pour éviter un épuisement prématuré de l'énergie [63] et prolonger la durée de vie du réseau. Par conséquent, les techniques d'économie d'énergie dans les processus de communication et de calcul sont d'une grande importance dans les réseaux de capteurs sans fil. La consommation d'énergie est calculée à l'aide des équations suivantes :

1. L'énergie consommée par l'émetteur et l'amplificateur à l'extrémité de l'émetteur :

$$E_{Tx}(p,r) = E_{Telec}(r) + E_{Amp}(p,r)$$
$$E_{Tx}(p,r) = E_{elec} * r + \epsilon_{Amp} * r * p^2$$

Où:

- E_{Tx} est la consommation d'énergie totale à l'extrémité de l'émetteur.
- E_{Telec} est l'énergie consommée par l'émetteur
- E_{Amp} est l'énergie consommée par l'amplificateur pour transmettre un message long de r bits à une distance p .

2. L'énergie consommée par le récepteur lors de la réception à l'extrémité de réception:

$$E_{Rx}(r) = E_{Relec}(r)$$
$$E_{Rx}(r) = E_{elec} * r$$

Où:

- E_{Rx} est la consommation d'énergie totale à l'extrémité du récepteur.
- E_{Relec} est l'énergie consommée par le récepteur, pour recevoir un message long de r bits à une distance p .

Une autre forme de consommation d'énergie pendant le traitement des données dans les WBAN est due à la commutation (E_s) des modes, c'est-à-dire du mode veille au mode réveil ou vice versa, et aux fuites de courant (E_l). La consommation totale d'énergie pour le traitement d'un paquet de taille x bits par chaque nœud de capteur est donnée par l'équation suivante :

$$E_{proc_x}(x, N_{cyc}) = x N_{cyc} C_{avg} V_{sup}^2 + \mathcal{W}_{sup} (I_0 e^{\frac{V_{sup}}{k_p V_t}}) \left(\frac{N_{cyc}}{f} \right)$$

Où:

- I_0 est le courant de fuite.
- f est la fréquence du capteur.
- N_{cyc} est le nombre de cycles d'horloge par tâche.
- C_{avg} est la capacité Moyenne
- V_t est la tension thermique et k_p est une constante.

La consommation totale d'énergie par le cluster head (CH), E_{proCH} par tour est donnée par l'équation :

$$E_{proc_{CH}}(h_1, x, N_{cyc}) = h_1 E_{pro_N}(x, N_{cyc})$$

Où:

- N_{cyc} est le nombre de cycles d'horloge par tâche.
- C_{avg} est la capacité moyenne commutée par cycle.

III.3.7 Election des cluster-heads

Le cluster head peut être sélectionné au hasard dans l'ensemble des nœuds de capteurs déployés, ou il peut être sélectionné en fonction de l'ID maximum ou minimum dans son voisinage, du degré de connexion, de la puissance de transmission, de l'énergie restante ou la mobilité d'un nœud ou d'un poids qui représente une combinaison de métriques.

Le rôle de chef de cluster doit être attribué périodiquement à de nouveaux nœuds afin que certains nœuds ne soient pas chargés de plus de tâches que d'autres et réduisent leur niveau d'énergie. Il existe plusieurs possibilités de réélection de nouveaux chefs de cluster. Il existe des techniques qui utilisent des paramètres dynamiques (énergie restante, mobilité) pour déclencher des algorithmes qui spécifient de nouveaux chefs de cluster. Par exemple, un chef de cluster peut déclencher un processus d'élection pour sa zone locale si le niveau de la batterie tombe en dessous d'un seuil prédéfini [61].

III.4 Conclusion

Ce chapitre présente une méthode de contrôle moderne. La logique floue diffère de la logique classique en ce qu'elle permet une définition partielle ou "floue" des règles de contrôle. La puissance de la logique floue vient de sa capacité à écrire un phénomène ou un processus spécifique dans le langage, puis à utiliser un petit nombre de règles pour représenter ce phénomène. La connaissance des systèmes flous est contenue dans des règles et des ensembles flous, qui contiennent des descriptions générales des propriétés du phénomène en question.

Le clustering est largement utilisé dans les réseaux de capteurs sans fil et a été introduit dans les réseaux de capteurs sans fil au cours de la dernière décennie en raison de l'amélioration des performances du réseau en fonction de plusieurs paramètres (principalement la durée de vie). Dans le prochain chapitre, nous allons simuler un WBAN tout en appliquant la logique floue pour élire les CHs après avoir établi un clustering avec la méthode FCM.

Chapitre 4 :

Implémentation et

Simulation.

IV.1 Introduction

Le protocole ou l'algorithme de routage choisi joue un rôle principal dans le processus de conception d'un réseau WBAN efficace, fiable et peu coûteux. Dans ce chapitre, nous utilisons l'outil Matlab pour étudier et analyser un protocole de routage basé sur le clustering, que nous appelons "CHSFL" pour "Cluster Head Selection based on Fuzzy Logic ", afin d'évaluer les performances des réseaux WBAN qui l'appliquent.

Nous commençons par présenter les différentes étapes de l'implémentation du protocole de routage adopté dans notre contribution, pour poursuivre avec une comparaison des performances du WBAN (durée de vie, stabilité, l'efficacité énergétique) obtenus par ce protocole et sa version améliorée "ICHSFL" pour "Improved Cluster Head Selection based on Fuzzy Logic ". Pour cela une présentation détaillée des résultats obtenus par les deux méthodes ainsi qu'une discussion de ces résultats est faite.

IV.2 Contributions et protocoles proposés

Suite à ces études récentes sur les techniques de routage et de clustering existantes, ainsi que l'état de l'art présenté au deuxième chapitre, nous proposons un nouveau protocole de routage qui permet de satisfaire multiples critères de performance pour les WBAN sous la contrainte impliquée d'une ressource énergétique limitée. Notre première contribution est de concevoir un protocole de routage basé sur le clustering via une approche floue C-Means et de sélectionner les têtes de cluster en fonction de l'énergie résiduelle et de la distance avec le puits. Notre deuxième contribution est une amélioration du protocole précédemment proposé, qui consiste à supprimer les nœuds proches du puits de la phase de clustering.

Les performances de l'algorithme de routage proposé sont présentées et mesurées selon les critères de performance suivants :

- Durée de vie du réseau.
- Stabilité du réseau.
- Energie résiduelle.

IV.3 Le modèle WBAN utilisé

IV.3.1 Topologie et modèle du réseau

Dans ce travail, nous avons proposé un système WBAN qui sera composé de 14 nœuds biocapteur et de deux puits (sink1 et sink2). Nous allons proposer deux variantes (solutions) : dans la première, tous les nœuds seront concernés par le clustering alors que dans la seconde, nous allons priver les nœuds proches des sinks de l'opération du clustering.[64]

IV.3.2 Modèle énergétique

Le travail proposé adopte un modèle radio de premier ordre pour l'estimation de l'énergie d'un nœud dépensée par un nœud dans la transmission de données [19, 35]. Selon le modèle radio de premier ordre, la consommation d'énergie de transmission des nœuds pour relayer un paquet de données (nombre de bits W) à une distance « D » peut être estimée comme suit:

$$E_{Tx}(W, D) = E_{Tx-elect} * W + E_{Amp} * \eta * D^{\gamma} * W \quad (1)$$

Le même modèle tient également compte de la consommation d'énergie des nœuds lors de la réception d'un paquet de données de bits « W » comme suit :

$$E_{Rx}(W) = E_{Rx-elect} * W \quad (2)$$

En utilisant le même modèle, l'énergie des nœuds consommée pour l'agrégation du nombre « W » de bits peut être prise en compte comme suit :

$$E_{DA}(W) = E_{DA} * W$$

Ici,

$E_{Tx-elect}$, $E_{Rx-elect}$ et E_{Amp} désignent la consommation d'énergie par nœud de bit dans les circuits émetteur, récepteur et amplificateur de nœud en fonctionnement, respectivement. E_{DA} indique la consommation d'énergie d'agrégation de données par bit. L'indice de perte de chemin n'est utilisé pour représenter une perte de chemin supplémentaire présentée sur les canaux de communication corporelle.

Dans la technique proposée, les pertes d'énergie de traitement des nœuds sont ignorées car elles sont négligeables par rapport à la transmission de données.

IV.4 Implémentation de protocoles de routage

L'algorithme proposé est composé de trois phases : formation des clusters, sélection des Clusters Head (CHs) et acheminement de l'information vers le nœud puits (sink). La première phase consiste à grouper l'ensemble des nœuds en un nombre prédéfini de clusters. Cette tâche est effectuée par l'algorithme "Fuzzy C-Means".

Une fois les clusters formés, nous passons à la sélection des CHs. Pour cela, nous avons utilisé un système d'inférence flou (figure IV.1) de type Mamdani, admettant en entrée deux variables linguistiques qui sont le niveau d'énergie résiduelle du nœud et sa distance par rapport au sink1. Ce système possède une seule variable de sortie nommée "probabilité d'élire le cluster Head".

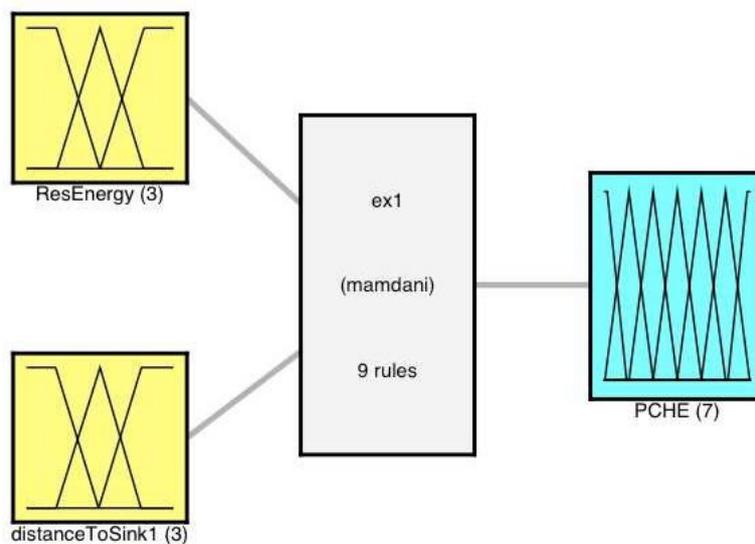


Figure IV.1 : Système d'inférence flou de type mamdani.

La variable linguistique "énergie résiduelle" est représentée par trois fonctions d'appartenance (figure IV.2) deux de type trapézoïdal nommées "Low" et "High" et une de type triangulaire nommée "Medium" dont l'axe des abscisses représente l'univers de discours allant de 0 jusqu'à 0.5 avec 0.5 est l'énergie initiale de chaque nœud.

La variable linguistique "distance par rapport au sink1" est représentée aussi par trois fonctions d'appartenance (figure IV.3) deux de type trapézoïdale nommées "Close" et "Far" et une de type triangulaire nommée "Adequate" dont l'axe des abscisses représente l'univers de discours allant de 0 à 1.0212 avec 1.0212 est la distance maximale séparant deux nœuds.

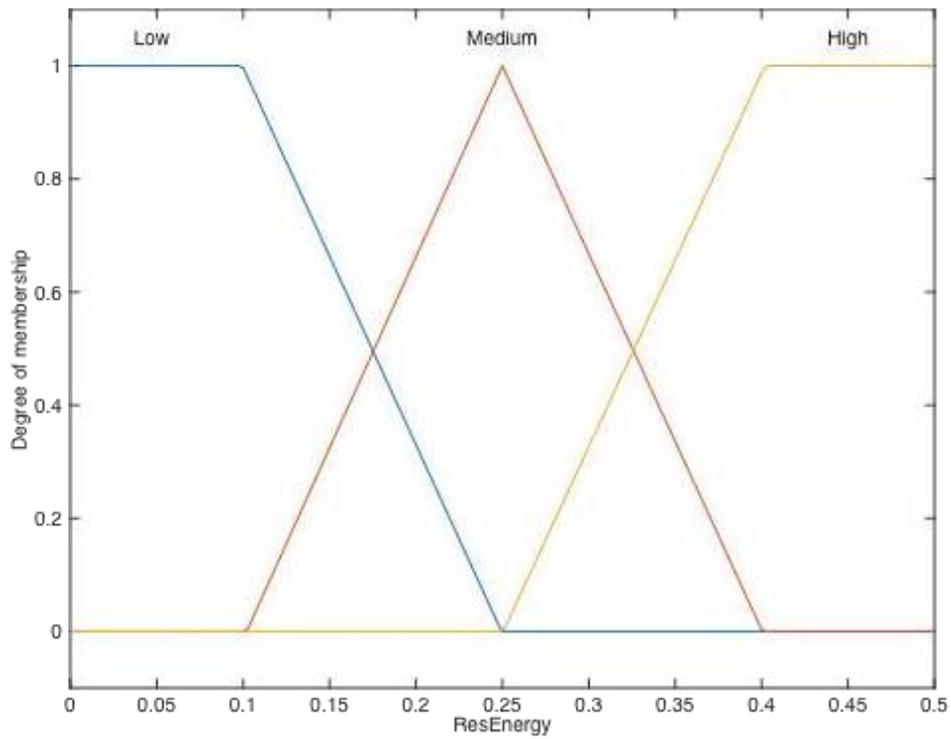


Figure IV.2 : Fonctions d'appartenance de la variable d'entrée « énergie résiduelle ».

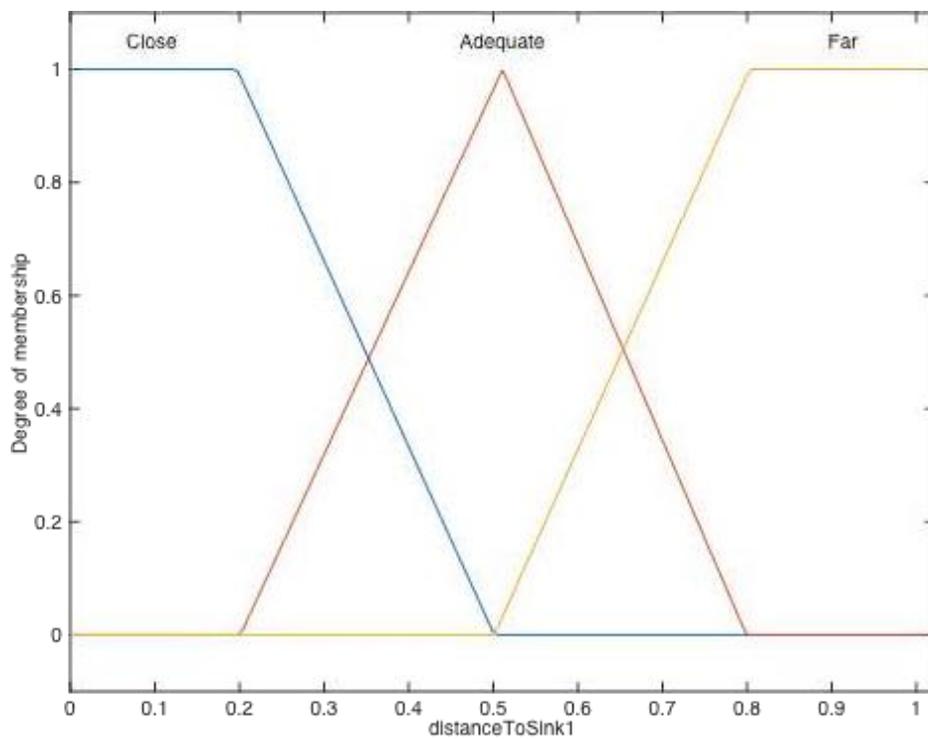


Figure IV.3 : Fonctions d'appartenance de la variable d'entrée « distance/ au sink 1 »

La variable linguistique "Probabilité d'élire un Cluster Head" est représentée à son tour par sept fonctions d'appartenance (figure IV.4) deux de type trapézoïdal nommées "very small" et "very large" et cinq de type triangulaire nommées "small", "rather small", "medium", "rather large" et "large" dont l'axe des abscisses représente l'univers de discours allant de 0 à 1 avec 1 est la probabilité maximale.

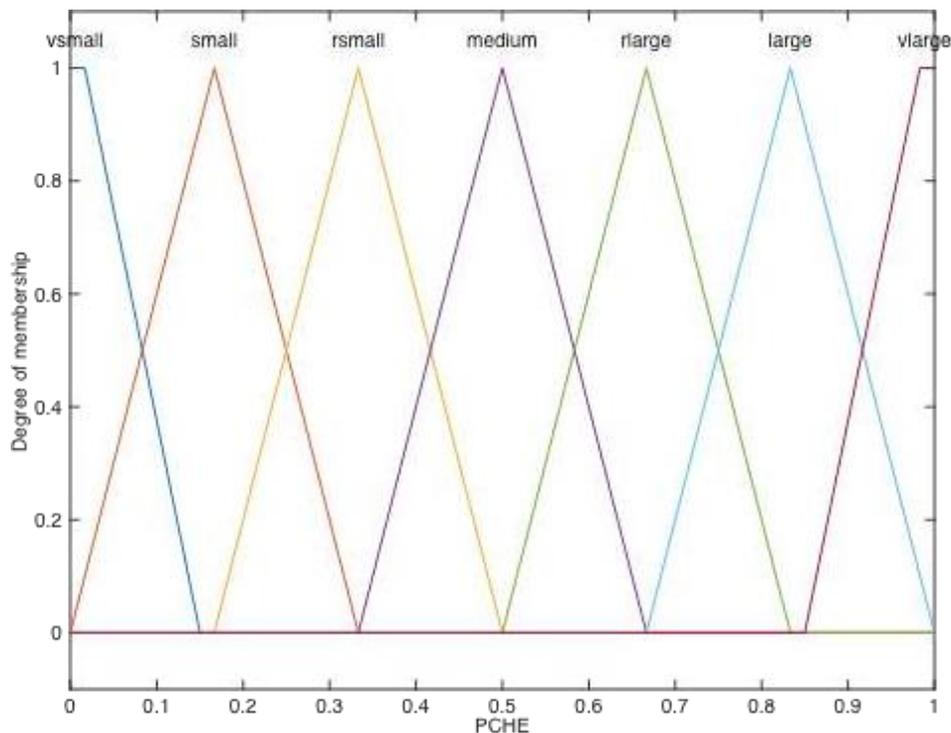


Figure IV.4 : Fonctions d'appartenance de la variable de sortie « PCHE »

Les règles régissant le système flou sont données comme suit :

Règle 1. If (ResEnergy is Low) and (distanceToSink1 is Close) then (PCHE is small)

Règle 2. If (ResEnergy is Low) and (distanceToSink1 is Adequate) then (PCHE is rsmall)

Règle 3. If (ResEnergy is Low) and (distanceToSink1 is Far) then (PCHE is vsmall)

Règle 4. If (ResEnergy is Medium) and (distanceToSink1 is Close) then (PCHE is rlarge)

Règle 5. If (ResEnergy is Medium) and (distanceToSink1 is Adequate) then (PCHE is medium)

Règle 6. If (ResEnergy is Medium) and (distanceToSink1 is Far) then (PCHE is small)

Règle 7. If (ResEnergy is High) and (distanceToSink1 is Close) then (PCHE is vlarge)

Règle 8. If (ResEnergy is High) and (distanceToSink1 is Adequate) then (PCHE is large)

Règle 9. If (ResEnergy is High) and (distanceToSink1 is Far) then (PCHE is rlarge)

Nous allons proposer deux variantes (solutions) : dans la première, tous les nœuds seront concernés par le clustering alors que dans la seconde, nous allons priver les nœuds proches des sinks de l'opération du clustering. Ci-joint les figures correspondantes aux deux approches.

IV.4.1 Tous les nœuds sont concernés par le clustering

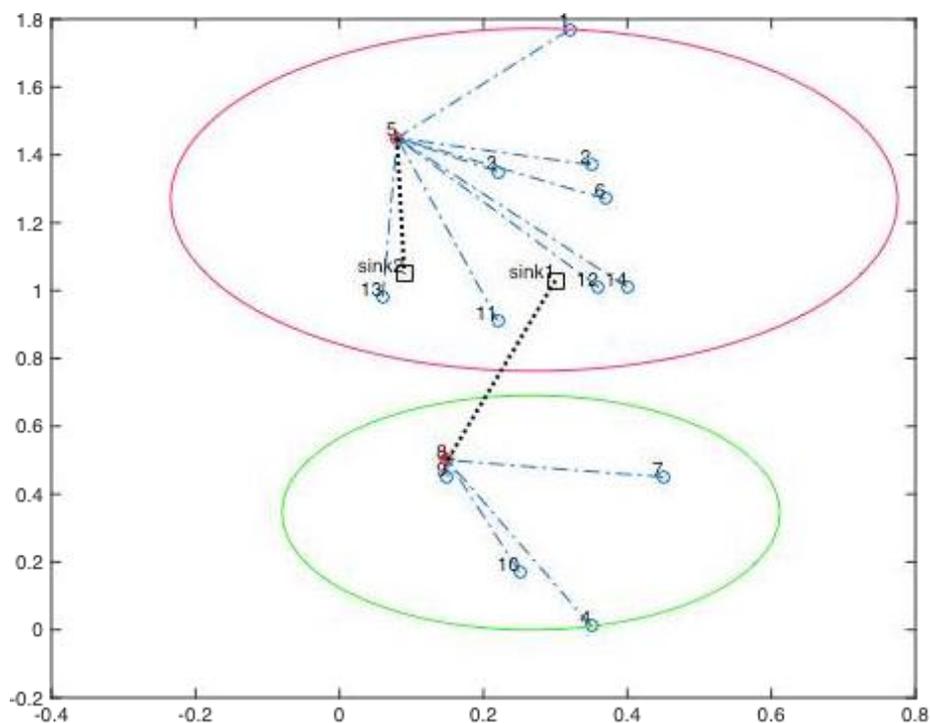


Figure IV.5: Topologie de réseau (solution 1).

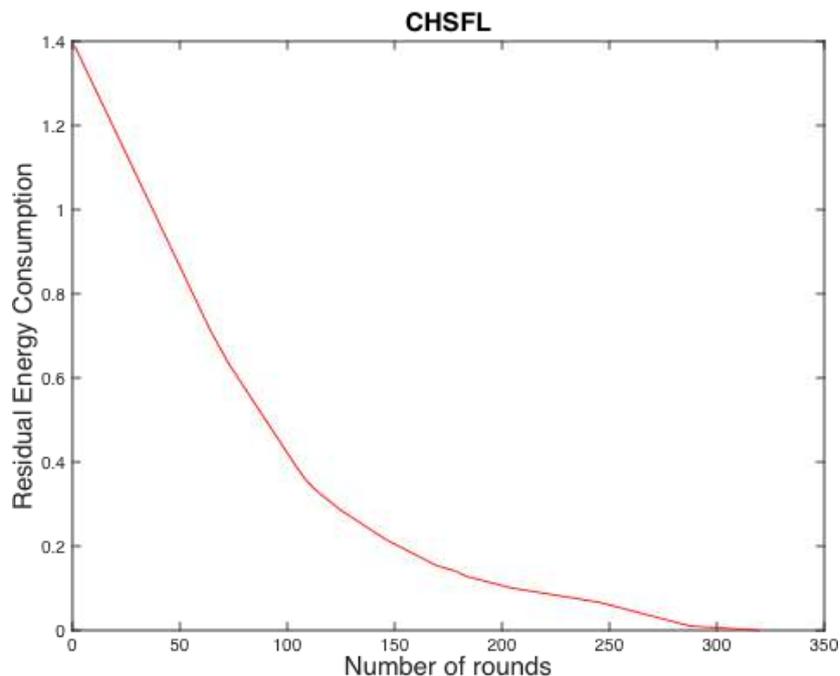


Figure IV.6 : Énergie résiduelle consommée en fonction de nombre d'itérations.

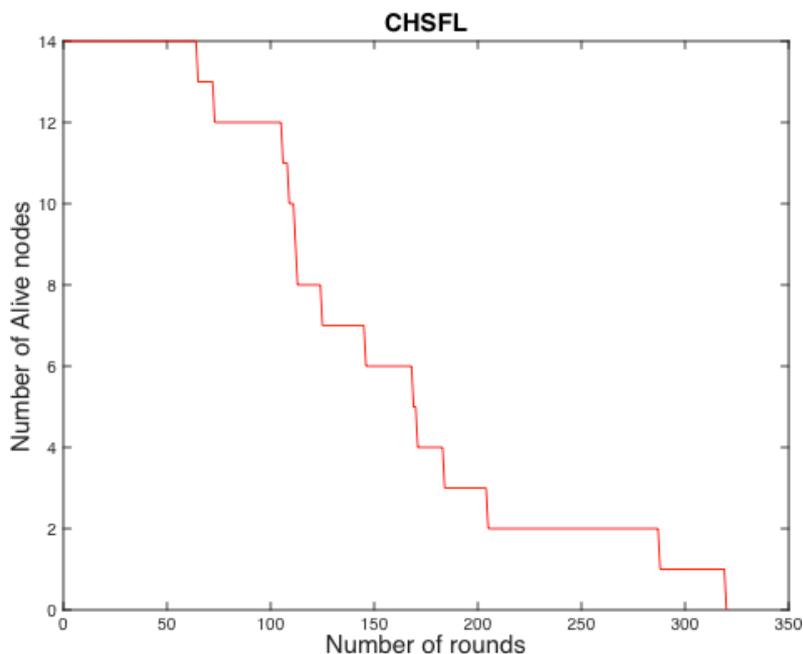


Figure IV.7 : Nombre de nœuds vivants en fonction de nombre d'itération.

Les figures IV.6 et IV.7 représentent l'énergie résiduelle consommée et le nombre de nœuds vivants respectivement en fonction du nombre d'itérations, dans cette approche tous les nœuds seront concernés par le clustering.

On constate que l'énergie résiduelle consommée et le nombre de nœuds vivants devient nulle au 320^{ème} round.

IV.4.2 Les nœuds proches des sinks ne sont pas concernés par le clustering

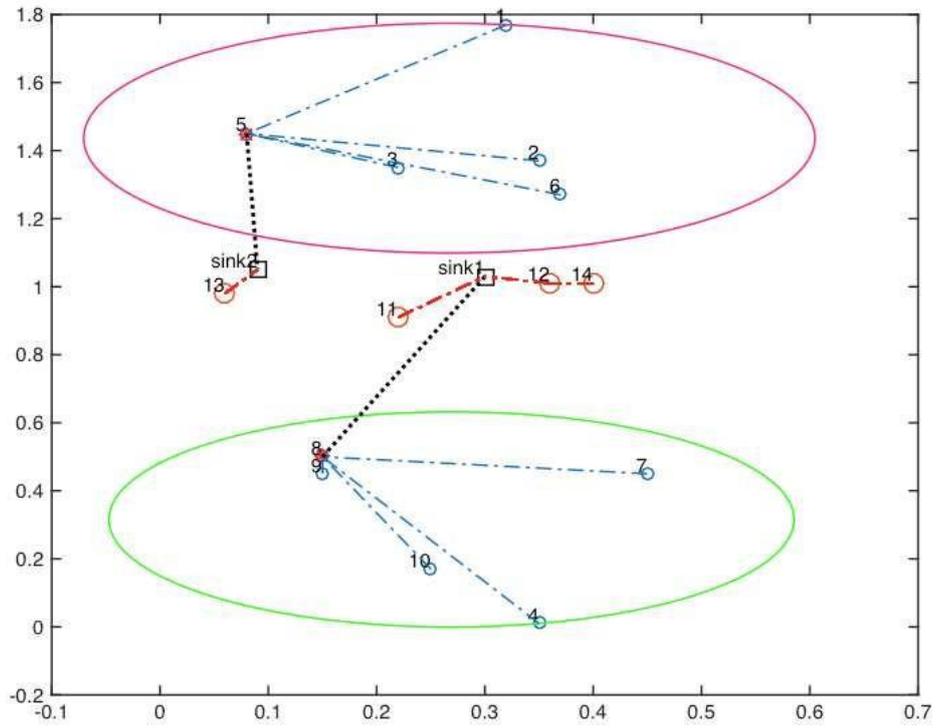


Figure IV.8: Topologie de réseau (solution 2).

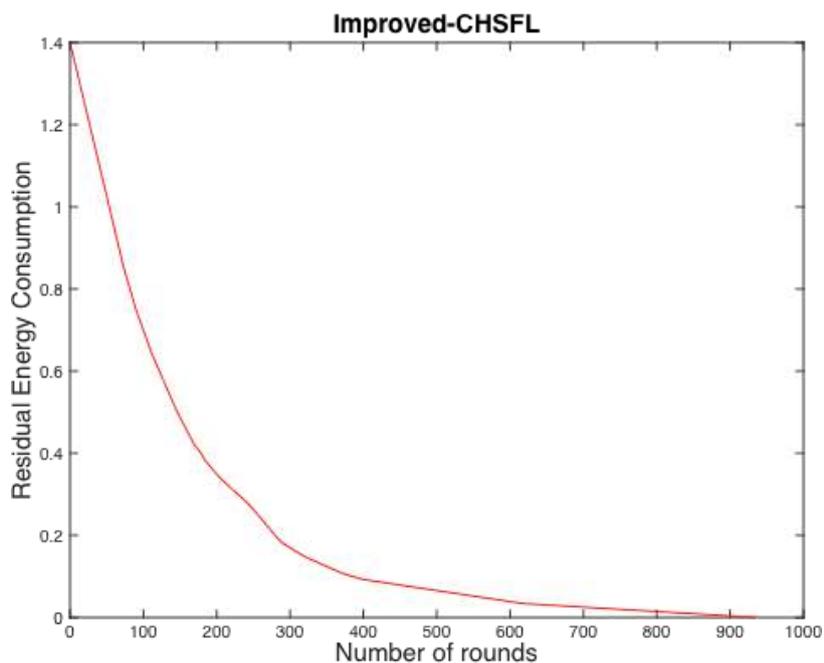


Figure IV.9 : Énergie résiduelle consommé en fonction de nombre d'itérations.

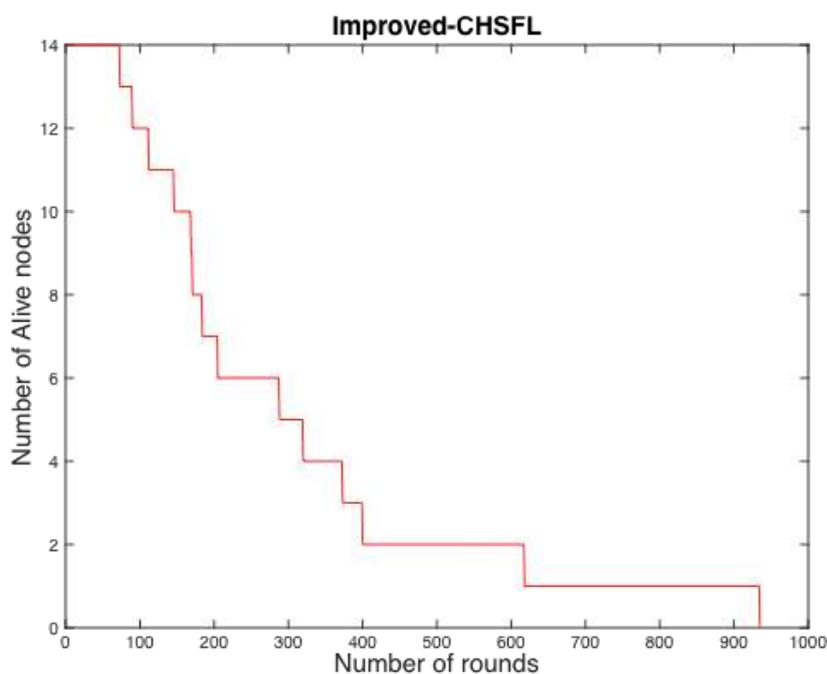


Figure IV.10 : Nombre de nœuds vivants en fonction de nombre d'itération.

Les figures IV.9 et IV.10 représentent l'énergie résiduelle consommée et le nombre de nœuds vivants respectivement en fonction du nombre d'itérations. Dans cette approche, les nœuds proches des sinks ne sont pas concernés par le clustering.

On constate que l'énergie résiduelle consommée devient nulle et le dernier nœud meurt au 940^{ème} round. Alors, on peut déduire que cette approche consomme moins d'énergie, le réseau est stable et il est plus efficace en termes de durée de vie du réseau.

IV.4.3 Comparaison entre les deux algorithmes

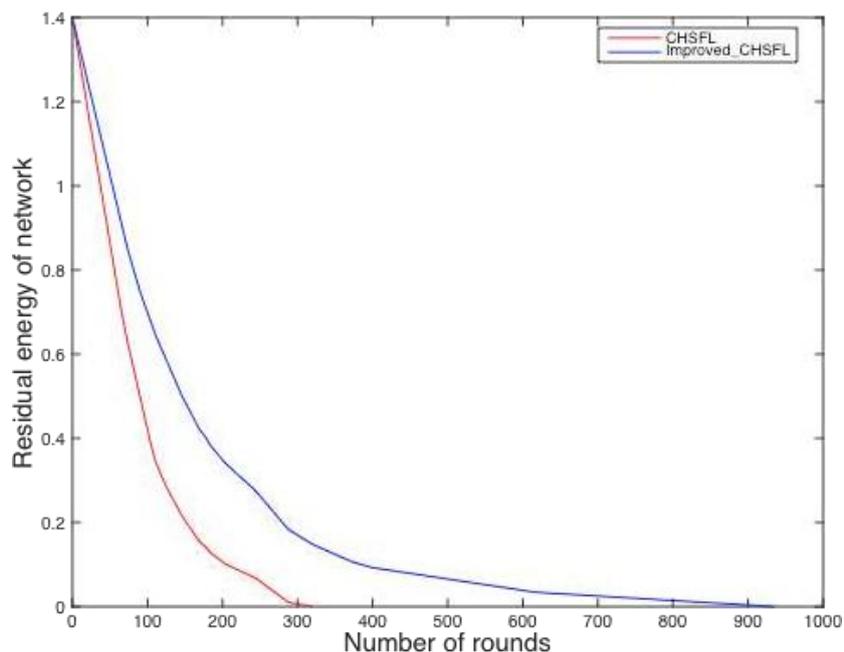


Figure IV.11 : Comparaison des énergies résiduelles consommées par les deux méthodes.

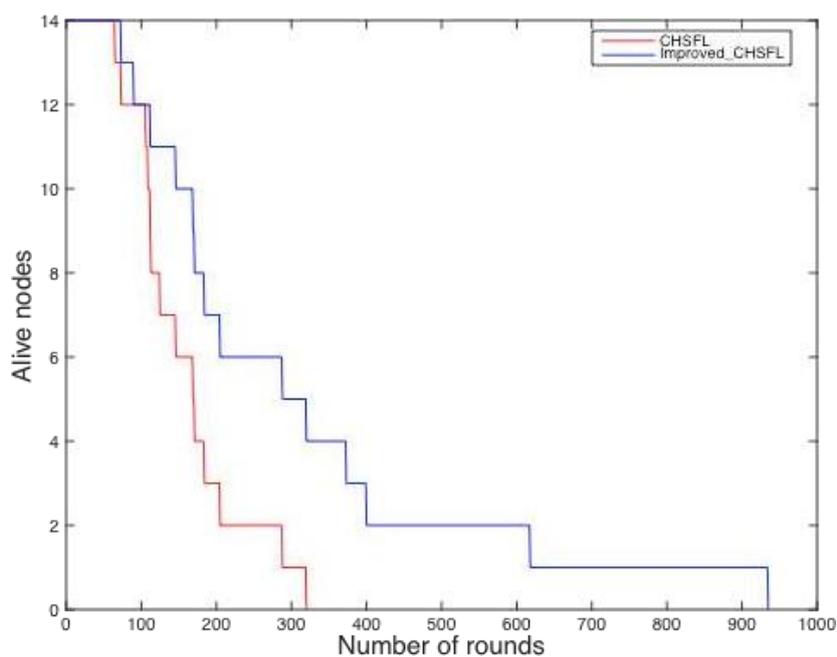


Figure IV.12 : Comparaison du nombre de nœuds vivants pour les deux méthodes.

Les deux figures IV.11 et IV.12 représentent la comparaison entre les deux solutions en termes d'énergie résiduelle consommée et de nombre de nœuds vivants en fonction du nombre d'itérations.

D'après les courbes de la figure IV.12 et de la figure IV.11, on constate que dans la première approche (CHSFL) le premier nœud meurt après 85 itérations et le dernier nœud épuise son énergie après 320 itérations, Nous observons également que dans la deuxième approche (ICHSL), le premier nœud meurt après 87 itérations et le dernier nœud épuise son énergie après 940 itérations.

Nous voyons que l'énergie résiduelle consommée et le nombre de nœuds vivant dans la deuxième approche est nettement meilleur que celle dans la première, en raison de la bonne répartition de la consommation d'énergie pendant la durée de vie du réseau. Par conséquent, nous constatons que la deuxième approche est plus efficace en termes de durée de vie du réseau par rapport à la première.

Alors, on peut déduire que la première approche consomme plus d'énergie, le réseau n'est pas stable et il est moins efficace en termes de durée de vie du réseau.

IV.5 Conclusion

La technique de clustering est également utilisée comme une technique de routage économe en énergie dans les réseaux de capteurs sans fil corporels où les nœuds avec l'énergie résiduelle la plus élevée peuvent être utilisés pour collecter des données et envoyer les informations. Dans ce dernier chapitre, nous avons proposé une approche hybride qui combine la formation des clusters et la sélection des CHs dans un WBAN. Nous avons utilisé la technique « Fuzzy C-Means » pour créer les clusters et un système à base de logique floue pour la sélection des CHs. Le résultat de la simulation montre que cette approche peut réduire la consommation d'énergie, maintenir la stabilité de réseau et améliorer la durée de vie du réseau aussi.

Au cours des travaux futurs, il est nécessaire de poursuivre les recherches sur le routage WBAN afin d'offrir de meilleures performances que celles obtenues et garantir des résultats plus stables pour l'utilisation du WBAN dans les applications de santé.

Conclusion

générale

Conclusion générale

L'avènement récent de la technologie des réseaux de capteurs sans-fil, conjugué au progrès de miniaturisation des composants et à l'allongement de la durée de vie des batteries, annoncent un futur prometteur à cette technologie. De plus, le développement de nouveaux capteurs plus performants permettra d'étendre d'avantage les domaines d'applications déjà important.

Dans le cadre de notre étude comparative, on s'est intéressé à certaines critères relatifs à la performance des capteurs sans fil et particulièrement la consommation énergétique au niveaux des Réseaux de Capteurs corporels (WBAN) qui représente un point sensible, ce qui a motivé les chercheurs a se focaliser plus sur cette problématique pour pouvoir prolonger la durée de vie des WBANs.

La simulation est fondamentale avant le déploiement en environnement réel, en raison des avantages qu'elle offre et plus particulièrement en matière de coût et de tests qui peuvent être réalisés dans les conditions extrêmes.

De ce fait, deux protocoles de routage destinés aux WBANs et appartenant à deux classes différentes ont été sélectionnés pour être comparés l'un avec l'autre, et cela en utilisant des outils de simulation convenables.

Dans notre travail, nous avons effectué une comparaison entre deux protocoles de routage. La première contribution est de concevoir un protocole de routage basé sur le clustering via une approche floue C-Means et de sélectionner les têtes de cluster en fonction de l'énergie résiduelle que nous notons "CHSFL". Notre deuxième contribution est une amélioration du protocole précédemment proposé "ICHSFL", qui consiste à supprimer les nœuds proches du récepteur de la phase de clustering.

Afin de valider la comparaison entre les deux protocoles en termes de prolongement de durée de vie du réseau ainsi que la gestion efficace de la consommation énergétique, nous avons simulé le fonctionnement de ces protocoles avec le simulateur Matlab en exploitant les fonctionnalités de la "logique floue" recommandées pour les réseaux WBANs. Les résultats que nous avons pu obtenir montrent quelques avantages en faveur du protocole de routage "ICHSFL" par rapport à l'autre protocole notamment en matière de consommation d'énergie et en termes de durée de vie du réseau, les frais généraux de la communication et le pourcentage de décès de nœuds. Enfin, et comme perspectives nous suggérons d'entamer d'autres comparaisons entre d'autres protocoles de routage appartenant à une même classe ou à des classes différentes peu importe afin d'approfondir la compréhension du fonctionnement de

plusieurs protocoles de routage et aussi d'étudier les performances de chaque protocole étudié ce que va forcément et avec le temps nous amène à en déduire quel protocole de routage doit-on recommander pour qu'il soit implémenté dans les capteurs des réseaux WBANs? Finalement, nous devons dire que nous avons eu beaucoup de plaisir en traitant ce sujet qui nous a motivés à bien dans ce type de réseaux.

Référence:

- [1] RAACHE Badreddine, BERRAH Belkhir, Etude comparative entre le routage clustering et QoS dans les WBANs pour M-HEALTH, 2016/2017
- [2] Otto, C., Milenkovic, A., Sanders, C., & Jovanov, E. «System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring». *Journal of mobile multimedia*, 1(4), 307-326.
- [3] Thèse Ali MAKKE « Détection d'attaques dans un système WBAN de surveillance médicale à distance ».
- [4] Fédération Internationale du Diabète [enligne] : « <http://www.idf.org/about-diabetes/factsfigures> », consulter le 24/06/2016.
- [5] Campbell, P. R. (1997). *Population projections: states, 1995-2025*. Census Bureau.
- [6] Cypher, D., Chevrollier, N. « Prevailing over wires in healthcare environments: benefits and challenges ». *IEEE Communications Magazine*, 44(4), 56-63.
- [7] Istepanian, R. S., Jovanov, E., & Zhang, Y. T. (2004). Guest editorial introduction to the special section on m-health: «Beyond seamless mobility and global wireless health-care connectivity». *IEEE Transactions on information technology in biomedicine*, 8(4), 405-414.
- [8] Jafari, R., Encarnacao, A., Zahoory, A., Dabiri, F., Noshadi, H., & Sarrafzadeh, M. (2005, July). *Wireless sensor networks for health monitoring*. In *The Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services* (pp. 479-481). IEEE.
- [9] Kyung Sup Kwak, Sana Ulah, and Niamat Ula, "An Overview of IEEE 802.15.6 Standard", 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), pages: 1-6, 2010.
- [10] Chlamtac, I., Conti, M., & Liu, J. J. N. (2003). « Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges ». *Ad hoc networks*, 1(1), 13-64.
- [11] Kwak, K. S., Ullah, S., & Ullah, N. (2010, November). «An overview of IEEE 802.15.6 standard». In *2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010)* (pp. 1-6) IEEE.
- [12] Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). «A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment». *ICT Express*, 5(1), 1–7.

- [13] Dhaval Patel. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master of Science Major in Computer Science South Dakota State University 2018. «Low power wide area networks (LPWAN): technology review and experimental study on mobility effect».
- [14] 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.
- [15] Tsenka Stoyanova and George Papadopoulos, «Wireless Sensor Networks For Medical Service». In *Proceeding of 5th European Symposium on Biomedical Engineering ESBME*, Patras, Greece, 2006.
- [16] Paulo Neves, Michal Stachyra and Joel Rodrigues, «Application of Wireless Sensor Networks to Healthcare Promotion», *Journal of Communications Software and Systems (JCOMSS)*, Vol. 4, No. 3, 2008.
- [17] JeongGil Ko, Chenyang Lu, Mani B. Srivastava, John A. Stankovic, Andreas Terzis, and Matt Welsh. «Wireless Sensor Networks for Healthcare», *Proceedings of the IEEE*, Volume 98 (Issue 11), pages: 1947-1960, 2010.
- [18] A. Maskooki, C. B. Soh, E. Gunawan, and K. S. Low, “Opportunistic routing for body area network,” in *IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, pp. 237–241, Jan. 2011.
- [19] S. Ullah, H. Higgins, B. Braem, B. Latre, C. Blondia, I. Moerman, S. Saleem, Z. Rahman, and K. Kwak, “A comprehensive survey of wireless body area networks,” *Journal of Medical Systems*, pp. 1–30, 2010.
- [20] C. Tachtatzis, F. Franco, D. Tracey, N. Timmons, and J. Morrison, “An energy analysis of IEEE 802.15.6 scheduled access modes,” in *IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps)*, pp. 1270–1275, Dec. 2010.
- [21] M. Quwaider and S. Biswas, “DTN routing in body sensor networks with dynamic postural partitioning,” *Ad Hoc Networks*, vol. 8, pp. 824–841, 2010.
- [22] D. Takahashi, Y. Xiao, F. Hu, J. Chen, and Y. Sun, “Temperature-aware routing for telemedicine applications in embedded biomedical sensor networks,” *EURASIP Journal of Wireless Communication Network* Jan. 2008.
- [23] “IEEE p802.15.6/d0 draft standard for body area network,” *IEEE Draft*, 2010.
- [24] B. Braem, B. Latré, I. Moerman, C. Blondia, and P. Demeester, “The wireless autonomous spanning tree protocol for multihop wireless body area networks” In *proceeding of the Third Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking Services*, pp. 1–8, July 2006.

- [25] Bangash J, Abdullah AH, Anisi MH, Khan AW (2014) A survey of routing protocols in wireless body sensor networks. *Sensors* 14(1):1322–1357
- [26] Heinzelman WB, Chandrakasan AP, Balakrishnan H (2002) An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Trans Wirel Commun* 1(4):660–670.
- [27] Culpepper BJ, Dung L, Moh M (2004) Design and analysis of hybrid indirect transmissions (HIT) for data gathering in wireless micro sensor networks. *ACM SIGMOBILE Mob Comput Commun Rev* 8(1):61–83.
- [28] Heinzelman WR, Chandrakasan A, Balakrishnan H (2000) Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In *Proceedings of the IEEE proc. Hawaii int'l. conf. sys. sci*, pp 1–10
- [29] Watteyne T, Augé-Blum I, Dohler M, Barthel D (2007) Anybody: a self-organization protocol for body area networks. In *Proceedings of the ICST 2nd international conference on body area networks (BodyNets '07)*, Brussels, ICST Belgium, pp 6:1–6:7
- [30] Mendes LDP, Rodrigues JJPC (2011) A survey on cross-layer solutions for wireless sensor networks. *J Netw Comput Appl* 34(2) :523–534.
- [31] Latre B, Braem B, Moerman I, Blondia C, Reusens E, Joseph W, Demeester P (2007) A low-delay protocol for multihop wireless body area networks. In *Proceedings of the 4th annual international conference mobile and ubiquitous systems: networking and services*. Philadelphia, PA, USA, pp 1–8.
- [32] Ruzzelli AG, Jurdak R, O'Hare GM, Van Der Stok P (2007) Energy-efficient multi-hop medical sensor networking. In *Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE international workshop on systems and networking support for healthcare and assisted living environments*. San Juan, Puerto Rico, ACM New York, USA, pp 37–42.
- [33] Braem B, Latre B, Moerman I, Blondia C, Demeester P (2006) The wireless autonomous spanning tree protocol for multihop wireless body area networks. In: *Proceedings of the 3rd annual international IEEE conference on mobile and ubiquitous systems: networking and services*. San Jose, CA, USA, pp 1–8.
- [34] Anirban B, Bassiouni MA (2009) Biocomm—a cross-layer medium access control (MAC) and routing protocol co-design for biomedical sensor networks. *Int J Parallel Emergent Distrib Syst* 24(1) :85–103.
- [35] Uthra RA, Raja SV (2012) QoS routing in wireless sensor networks—a survey. *ACM Comput Surv* 45(1):9.
- [36] Khan Z, Aslam N, Sivakumar S, Phillips W (2012) Energy-aware peering routing protocol for indoor hospital body area network communication. *Procedia Comput Sci* 10 :188–196.

- [37] Khan ZA, Sivakumar S, Phillips W, Robertson B, Javaid N (2012) QPRD : QoS-aware peering routing protocol for delay sensitive data in hospital body area network communication. In: Proceedings of the 7th international IEEE conference on broadband, wireless computing, communication and applications (BWCCA'12) Victoria, BC, Canada, pp 178–185.
- [38] Khan ZA, Sivakumar S, Phillips W, Robertson B (2013) A QoS-aware routing protocol for reliability sensitive data in hospital body area networks. *Procedia Comput Sci* 19:171–179.
- [39] Razzaque MA, Hong CS, Lee S (2011) Data-centric multi objective QoS-aware routing protocol for body sensor networks. *Sensors* 11(1) : 917–937.
- [40] Lazzi G (2005) Thermal effects of bioimplants. *IEEE Eng Med Biol Mag* 24(5) :75–81
- [41] Takahashi D, Xiao Y, Hu F (2007) LTRT: least total-route temperature routing for embedded biomedical sensor networks. In: Proceedings of the IEEE global telecommunications conference. Washington, DC, USA, pp 641–645.
- [42] Tang Q, Tummala N, Gupta SK, Schwiebert L (2005) TARA: thermal-aware routing algorithm for implanted sensor networks. In: Proceedings of the 1st IEEE international conference distributed computing in sensor systems. Marina del Rey, CA, USA, pp 206–217.
- [43] Bag A, Bassiouni MA (2007) Hotspot preventing routing algorithm for delay sensitive biomedical sensor networks. In Proceedings of the IEEE international conference on portable information devices, Orlando, FL, pp 1–5.
- [44] Rafatkah O, Lighvan MZ (2014) M2 E2 : a novel multi-hop routing protocol for wireless body sensor networks. *Int J Comput Netw Commun Secur* 2(8) :260–267.
- [45] Gupta S, Kaur P (2015) WBAN health monitoring system using TEEN protocol: threshold sensitive energy efficient network protocol. *Int J Innov Sci Eng Technol* 2(10) :20–25.
- [46] Ahmed S, Javaid N, Akbar M, Iqbal A, Khan ZA, Qasim U (2014) LAEEBA : link aware and energy efficient scheme for body area networks. In Proceedings of the 28th IEEE international conference on advanced information networking and applications (AINA'14), Victoria, BC, pp 435–440.
- [47] Khan ZA, Sivakumar S, Phillips W, Robertson B (2014) ZEQoS: a new energy and QoS-aware routing protocol for communication of sensor devices in healthcare system. *Int J Distrib Sens Netw*
- [48] Monowar MM, Mehedi Hassan M, Bajaber F, Hamid MA, Alamri A (2014) Thermal-aware multiconstrained intrabody QoS routing for wireless body area networks. *Int J Distrib Sens Netw*.
- [49] Tabandeh M, Ahourai F, Moradi S, Jahed M (2009) A thermal-aware shortest hop routing algorithm for in vivo biomedical sensor networks. In: Proceedings of the IEEE sixth

international conference on information technology: new generations, Las Vegas Nevada, pp1612–1613.

[50] Anirban B, Bassiouni MA (2006) Energy efficient thermal aware routing algorithms for embedded biomedical sensor networks. In: Proceedings of the IEEE international conference mobile ad hoc and sensor systems (MASS'06) Vancouver, BC, Canada, pp 604–609.

[51] Movassaghi S, Abolhasan M, Lipman J (2007) Energy efficient thermal and power aware (ETPA) routing in body area networks. In Proceedings of the IEEE 23rd international symposium on personal, indoor and mobile radio communications, Sydney, NSW, pp 1108–1113.

[52] Liang X, Shen Q, Lu R, Lin X, Shen X, Zhuang W (2012) Exploiting prediction to enable secure and reliable routing in wireless body area networks. In Proceedings of the 31st annual IEEE international conference on computer communications, Orlando, FL, USA, pp 388–396.

[53] Maskooki A, Soh CB, Gunawan E, Low KS (2011) Opportunistic routing for body area networks. In Proceedings of the IEEE consumer communications and networking conference (CCNC'11) Las Vegas, NV, USA, pp 237–241.

[54] Quwaider M, Biswas S (2010) DTN routing in body sensor networks with dynamic postural partitioning. *Ad Hoc Netw* 8(8):824–841.

[55] Quwaider M, Biswas S (2009) Probabilistic routing in on-body sensor networks with postural disconnections. In: Proceedings of the 7th ACM international symposium on mobility management and wireless access. Tenerife, Canary Islands, Spain, pp 149–158.

[56] Modélisation et identification paramétrique du transistor DG MOSFET en utilisant la logique floue, 2011. Thèse de doctorat. Université de Batna 2.

[57] SINZTNKAYO Antoine (Decembre 2000). APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE AU CHOC D'UNE MÉTHODE D'ASSEMBLAGE, 51-53.

[58] Les structures algébriques basiques, Les systèmes flous : Le fonctionnement, 2011

[59] BOURAIOU, Ahmed. Diagnostic de défauts par logique floue. 2010. Thèse de doctorat. Annaba

[60] Gabriel Cormier- Université de Moncton-GIND5439- Systèmes intelligents, 9-10

[61] CORNUEJOLS. Antoine. Introduction à la logique floue, Cours d'IA-3^{ème} année, AGRO ParisTech, 2013.

[62] Gherbi, Chirihane et ALIOUAT, Zibouda. Algorithme de routage pour les réseaux de capteurs avec prise en charge de la consommation d'énergie, 2017.

[63] AMEL, Hanneche et LAMIA, Hamza. Conception d'un nouveau protocole pour les réseaux de capteurs sans fils. 2021

[64] Amit Choudhary¹ • M. Nizamuddin¹ • Vibhav Kumar Sachan², A Hybrid Fuzzy-Genetic Algorithm for Performance Optimization of Cyber Physical Wireless Body Area Networks

