



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



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

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Mathématique et Informatique

Filière : Informatique

Option : Réseaux et Sécurité Informatique

Thème

Adaptation un protocole de routage pour les réseaux de capteurs corporels WBANs

Présenté par :

MESSAI Anfel

Devant le jury :

Dr METROUH Abdelmalek

MCA

Président

Dr ABBAS Faycel

MCB

Examineur

Mme BOUAKKAZ Fatima

MAA

Encadreuse

Date de Soutenance : 8 Juin 2023

Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil (WSN) sont largement utilisés dans diverses applications, y compris les soins de santé, en raison de leur adaptabilité à différents environnements.

Un type spécifique de WSN est les réseaux corporels sans fil (WBAN), qui sont de plus en plus utilisés pour la surveillance médicale à distance. Cependant, les WBAN ont des exigences spécifiques, telles que le délai, la consommation d'énergie et la durée de vie du réseau, qui doivent être prises en compte lors de la conception des protocoles. Les protocoles de routage sont cruciaux pour déterminer les performances globales du système des WBAN. Ainsi, il est important d'étudier et d'analyser les protocoles de routage existants afin d'identifier leurs forces et leurs faiblesses et de développer de nouveaux protocoles adaptés spécifiquement aux WBAN. Ce mémoire vise à adapter un protocole de routage « SIMPLE » pour les WBAN et à le comparer à un autre protocole dans un environnement de simulation.

Les mots clés : Réseau de capteurs sans fil, réseaux corporels sans fils, WBANs, SIMPLE.

Abstract

Wireless Sensor Networks (WSNs) are used in many applications as they are suitable for various environments such as healthcare.

Wireless Body Area Networks (WBANs) is a fast-growing field where their applications are constantly developing, especially in remote medical monitoring. WBANs face many requirements in terms of delay, power consumption, temperature and network lifetime, which need to be taken into consideration when designing different protocols. Since routing protocols play an important role in the overall system performance in terms of delay, power consumption, temperature, etc., a thorough study is needed on the existing routing protocols in WBANs. In addition, the specific challenges of WBANs require the design of new routing protocols specifically for WBANs. This topic shall provide an overview on existing routing protocols intended mainly for WBANs.

The objective of our work is to perform an adaptation of a routing protocol “SIMPLE” dedicated to WBANs and make a comparative study between two protocols in a simulation environment.

Keywords: Wireless sensor Network, Wireless body area network, WBANs, SIMPLE.

ملخص

تُستخدم شبكات الاستشعار اللاسلكية في العديد من التطبيقات لأنها مناسبة لبيئات مختلفة مثل الرعاية الصحية.

تعد شبكات منطقة الجسم اللاسلكية مجالاً سريع النمو حيث تتطور تطبيقاتها باستمرار، لا سيما في المراقبة الطبية عن بُعد. تواجه شبكات WBAN العديد من المتطلبات من حيث التأخير واستهلاك الطاقة ودرجة الحرارة وعمر الشبكة، والتي يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم بروتوكولات مختلفة. نظرًا لأن بروتوكولات التوجيه تلعب دورًا مهمًا في الأداء العام للنظام من حيث التأخير واستهلاك الطاقة ودرجة الحرارة وما إلى ذلك، هناك حاجة إلى دراسة شاملة حول بروتوكولات التوجيه الحالية في شبكات WBAN. بالإضافة إلى ذلك، تتطلب التحديات المحددة لشبكات WBAN تصميم بروتوكولات توجيه جديدة خاصة بالشبكات WBAN. يجب أن يوفر هذا الموضوع نظرة عامة على بروتوكولات التوجيه الحالية المخصصة أساسًا لشبكات WBAN.

الهدف من عملنا هو إجراء تكييف لبروتوكول التوجيه SIMPLE المخصص لشبكات WBAN وإجراء دراسة مقارنة بين بروتوكولين في بيئة محاكاة.

الكلمات المفتاحية: شبكة المستشعرات اللاسلكية، شبكات الجسم اللاسلكية، SIMPLE

Remerciements

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

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mme Fatima Bouakkaz pour son formidable soutien et son aide dans la réalisation de mon projet, sa responsabilité et sa patience qui m'ont encouragé dans cette recherche

Je tiens également à remercier tous les professeurs de l'université de Tébessa, en particulier les professeurs de notre département qui nous ont éduqués et guidés tout au long de ces cinq années.

Je tiens à remercier mes amis et collègues qui m'ont aidé et encouragé tout au long de ma démarche.

Dédicace

Je remercie tout d'abord Allah qui m'a guidé et m'a donné la force de faire et d'achever ce modeste travail.

Je tiens à dédier ce travail à :

Mes parents, mon cher père et ma chère mère qui m'ont soutenu et guidé à chaque fois, mes chères sœurs, en particulier Nour elhouda qui a été le plus grand soutien, ma sœur jumelle Ibtihel qui est la plus proche de mon cœur, mes neveux et toute ma famille

A tous mes amis et collègues en particulier ma meilleure amie imen djnina.

Table des matières

Table des matières	I
Liste des figures.....	V
Liste des Tableaux	VI
Liste des abréviations.....	VII
Introduction générale	1
Introduction Générale.....	2
Chapitre 1	4
Réseaux de capteurs sans fil.....	4
1.1 Introduction	3
1.2 Les réseaux de capteurs sans fils (WSN)	3
1.2.1 Définition	3
1.2.2 Les capteurs sans fils.....	3
1.2.2.1 Définition	3
1.2.2.2 Architecture d'un capteur sans fils.....	4
1.2.3 Les applications des réseaux de capteurs sans fils	5
1.2.4 Consommation d'énergie Capteur.....	7
1.3 Les défis du RCFS :	9
1.4 Les réseaux WBANs (Wireless body area networks) :	10
1.4.1 Définition	10
1.4.2 Les capteurs médicaux	10
1.4.3 Architecture des réseaux WBANs.....	13
1.4.4 Topologies des WBANs.....	13
1.4.5 WBANs Technologies et standards.....	14
1.4.6 Les différences entre WSNs et WBANs	16
1.4.7 Les défis d'un réseau WBAN.....	16
1.5 Conclusion.....	17
Chapitre 2 Les protocoles de routage	18
dans les WBANs.....	18
2.1Introduction	19
2.2 Les défis de routage dans WBANs	19
2.3 Les protocoles de routage dans les WBANS.....	21
2.3.1.Les protocoles basés sur la température	21

2.3.2. Les protocoles basés sur la posture	22
2.3.3. Les protocoles inter-couches	23
2.3.4. Les protocoles basés sur le clustering	25
2.3.5. Les protocoles basés sur le Qos.....	26
2.4 Discussion	31
2.5 Conclusion.....	32
Chapitre 3 Contribution	33
3.1 Introduction	34
3.2 Protocole Simple	34
3.2.1. Le déploiement des nœuds	34
3.2.2. Les phases de SIMPLE	35
3.3 Protocole ATTEMPT	35
3.3.1. Le déploiement des nœuds	35
3.3.2. Les phases de ATTEMPT	36
3.4 Adaptation proposée.....	37
3.5. Modèle de système de base	37
3.5.1. La phase d'initialisation	40
3.5.2 La phase de sélection du saut suivant.....	41
3.5.3 La phase d'ordonnancement.....	41
3.6 Table de comparaison.....	42
3.7 Conclusion.....	43
Chapitre 4 Simulation et analyse des performances	44
4.1 Introduction	47
4.2 Choix du langage et de l'environnement d'implémentation	47
4.3 Simulation	47
4.4 Résultats de simulation :	48
4.4.1 L'énergie résiduelle.....	49
4.4.2 Comparaison de la durée de vie	50
4.4.3 Comparaison des données reçues	51
4.4.4 Comparaison de perte de chemin	52
4.4.5. Discussion	53
4.5 Conclusions	54
Conclusion générale	55
Bibliographie	58

Liste des figures

Figure 1 Réseau des capteurs sans fils (WSN).....	3
Figure 2 Un nœud capteur sans fil et ses composants [39]	4
Figure 3 Architecture d'un capteur sans fils	5
Figure 4 Les applications des réseaux de capteurs sans fils [30]	7
Figure 5 : Modèle de consommation d'énergie [44]	8
Figure 6 Un réseau corporel sans fils [40]	12
Figure 7 L'architecture d'un réseau WBAN [41]	13
Figure 8 Topologie des réseaux WBANs [8]	14
Figure 9 La technologie Bluetooth dans le réseau WBANs [32]	15
Figure 10 Classification des protocoles de routage pour les WBANs	28
Figure 11 déploiement des nœuds du protocols simple	34
Figure 12 le déploiement des nœuds du protocole ATTEMPT	36
Figure 13 TDMA (Time Division Multiple Access) [44]	37
Figure 14 La phase d'amélioration proposée.....	38
Figure 15 Organigramme d'adaptation proposée	39
Figure 16 Organisation des nœuds dans l'adaptation proposée.....	40
Figure 17 le déploiement des nœuds	49
Figure 18 L'énergie résiduelle versus les rounds des Protocoles SIMPLE ,MODIFIED SIMPLE et ATTEMPT	50
Figure 19 Nombre des nœuds mort.	51
Figure 20 : Les Données Reçus des Protocole SIMPLE,MODIFIED SIMPLE, et ATTEMPT	52
Figure 21 perte de chemin versus les rounds des protocoles SIMPLE, MODIFIED SIMPLE, and ATTEMPT	53

Liste des Tableaux

Tableau 1 les capteurs du WBANS et ses fonctions	12
Tableau 2 Comparaison entre WSNs et WBANS.....	16
Tableau 3 : Analyse comparative entre les protocoles de routage dans les WBANS.....	29
Tableau 4 Une comparaison entre les protocoles.....	42
Tableau 5 Les paramètres de simulation.....	48

Liste des abréviations

RCSFs	Réseaux de Capteurs Sans Fil
WSN	Wireless Sensor Network
WBANs	Wireless body area networks
SIMPLE	Stable Increased Throughput Multihop Protocol for Link Efficiency in WBAN
ATTEMPT	Adaptive Threshold-based Thermal-aware Energy-efficient Multihop Protocol
MATLAB	MATrix LABoratory
TDMA	Time Division Multi Access
QoS	Quality of Service

Introduction générale

Introduction Générale

Contexte

Les réseaux de capteurs sans fil (WSN) ont connu un développement remarquable et sont devenus un domaine de recherche et d'innovation important. Ces réseaux sont constitués de petits nœuds de capteurs autonomes qui collaborent pour collecter des données dans l'environnement, ce qui donne lieu à un large éventail d'applications dans divers domaines.

Un sous-domaine important des WSN est celui des réseaux sans fil pour le corps humain (WBAN), qui se concentre sur l'intégration de dispositifs de détection dans le corps humain ou de dispositifs portables. Ils ont des applications dans divers scénarios y compris la surveillance à distance des patients, les soins aux personnes âgées, le suivi de la condition physique et la gestion des maladies chroniques. Les WBAN jouent un rôle essentiel dans l'amélioration des résultats des soins de santé en permettant la détection précoce des anomalies, l'intervention en temps opportun et le traitement personnalisé. Ils offrent la possibilité de collecter des données en temps réel, de les analyser et de prendre des décisions, ce qui permet aux professionnels de la santé de disposer d'informations exploitables et facilite la personnalisation des soins aux patients.

Contribution

Malgré l'immense potentiel des WBAN, plusieurs défis doivent être relevés pour assurer leur fonctionnement efficace et fiable. Certains défis clés incluent la consommation d'énergie qui influence la durée de vie du réseau. Ces défis nécessitent le développement de protocoles de routage robustes et adaptatifs spécialement conçus pour les WBAN.

L'objectif de notre travail est d'adapter l'un des protocoles de routage des réseaux de capteurs corporels Sans Fil, (SIMPLE) dans la phase de sélection d'un saut suivant en remplaçant la façon dont la fonction de coût est calculée dans le protocole. La version adaptée s'appelle "MODIFIED SIMPLE". Cette adaptation augmente la durée de vie de réseaux et minimise la consommation d'énergie pour chaque nœud. L'algorithme proposé a été simulé avec MATLAB.

Organisation de la mémoire

Ce rapport est organisé en 4 Chapitres :

- **Chapitre 1** : Dans ce chapitre, nous présentons les réseaux de capteurs sans fil en général et les réseaux corporels sans fil en particulier.
- **Chapitre 2** : Ce chapitre se concentre sur les défis des réseaux corporels sans fil et les protocoles de routage.
- **Chapitre 3** : Constitue le cœur de cette contribution, l'amélioration de phase de sélection du saut suivant, avec une fonction de coût adaptée. Nous présentons la conception de notre amélioration proposée.
- **Chapitre 4** : Nous présentons nos simulations, et les résultats obtenus en mettant en œuvre notre suggestion d'adaptation au protocole de routage SIMPLE. Cette adaptation consiste à modifier la fonction de coût utilisée lors de la phase de sélection du saut suivant.
- **Enfin**, une conclusion générale ainsi que les perspectives à suggérées.

Chapitre 1

Réseaux de capteurs sans fil

1.1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sont une technologie en plein essor qui a de nombreuses applications, y compris dans le domaine médical. Les réseaux corporels sans fil (WBANs) sont un type spécifique de réseau de capteurs sans fil qui permet la surveillance à distance des patients. Ce chapitre traite des bases des réseaux de capteurs sans fil et des WBAN, et propose des exemples de la manière dont ils peuvent être utilisés dans divers contextes.

1.2 Les réseaux de capteurs sans fils (WSN)

1.2.1 Définition

Les réseaux de capteurs sans fil sont constitués de petits capteurs individuels qui envoient des informations à un emplacement central. Cet emplacement peut être une station de base ou un puits, qui peut ensuite être connecté à l'internet ou à une infrastructure. Cela permet aux personnes d'accéder aux données collectées par les capteurs.

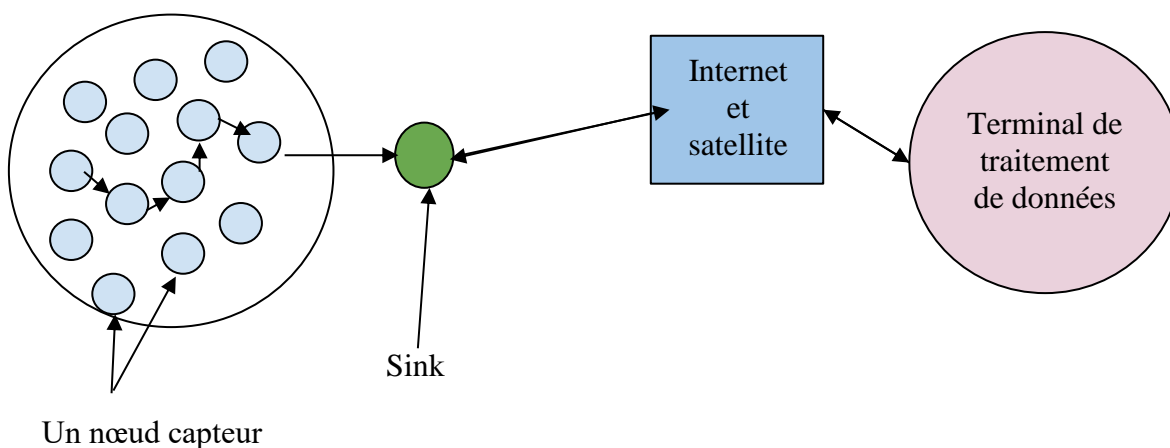


Figure 1 Réseau des capteurs sans fils (WSN)

1.2.2 Les capteurs sans fils

1.2.2.1 Définition

Un capteur est un mini-ordinateur alimenté par des piles. Il est souvent placé au hasard dans des environnements ouverts pour collecter des données. Le capteur envoie les données collectées à un appareil plus puissant, un sink ou la station de base. L'appareil traite les données et les utilise parfois pour calculer des éléments tels que le maximum, la moyenne ou la médiane.

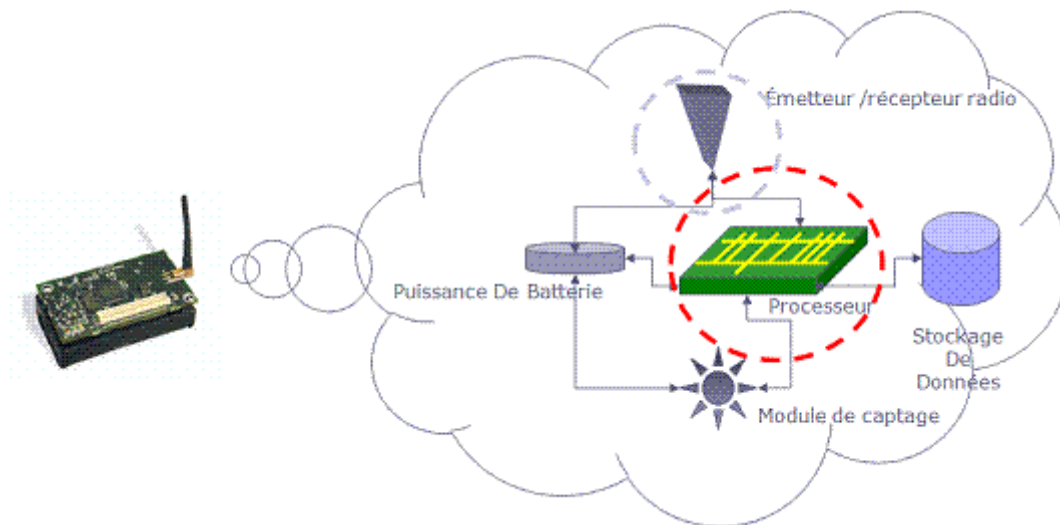


Figure 2 Un nœud capteur sans fil et ses composants [1]

1.2.2.2 Architecture d'un capteur sans fils

L'architecture système d'un capteur sans fil est composée de quatre éléments : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie.

- ✓ **Unité de captage** : se compose de deux sous-unités : le capteur lui-même et un convertisseur analogique-numérique. Le capteur sert à mesurer le phénomène physique et à envoyer le signal analogique au convertisseur. Le convertisseur transforme alors le signal en un format numérique qui peut être traité par l'unité de traitement.
- ✓ **Unité de traitement** : Cette entité est responsable de l'exécution des protocoles de communication qui permettent au nœud d'interagir avec d'autres nœuds du réseau, et peut également analyser les données collectées pour faciliter les tâches du nœud puits(sink).
- ✓ **Unité de communication** : permet d'envoyer et de recevoir des données sur un médium sans fil. Cela peut être fait en utilisant des signaux optiques ou des ondes

radio. Les signaux optiques résistent aux interférences d'autres appareils électriques, mais ils doivent être connectés directement à l'autre personne ou à l'appareil pour fonctionner.

- ✓ **Unité de contrôle d'énergie :** est responsable de la distribution de l'énergie disponible aux autres modules et de la réduction de la quantité d'énergie utilisée par le réseau. Il peut également gérer des systèmes de recharge d'énergie à partir de l'environnement, tels que des cellules solaires, pour prolonger la durée de vie du réseau.

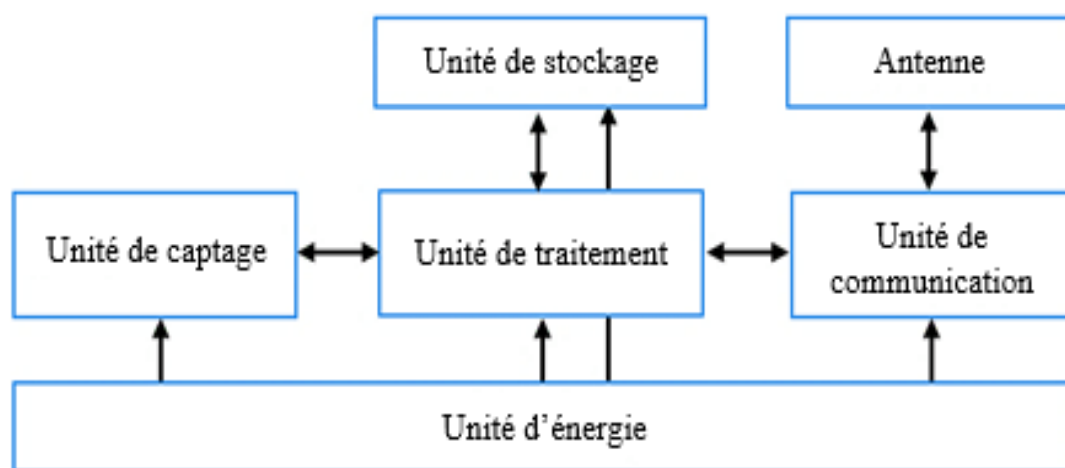


Figure 3 Architecture d'un capteur sans fils

1.2.3 Les applications des réseaux de capteurs sans fils

Les applications typiques des réseaux de capteurs sans fil comprennent la surveillance des conditions météorologiques et des forêts, la surveillance des champs de bataille, la surveillance physique des conditions environnementales telles que la pression, la température, les vibrations, les polluants, ou le suivi des mouvements humains et animaux dans les forêts et aux frontières. Cela sera discuté plus loin ci-dessous.

- ✓ **Applications militaires :** Les réseaux de capteurs se sont développés en grande partie sous l'influence du domaine militaire. Ils sont un outil précieux dans ce domaine car ils sont facilement déployables, rentables, auto-organisés et tolérants aux pannes. Une de ces applications implique le déploiement de réseaux de capteurs dans des endroits éloignés ou stratégiques pour surveiller l'activité ennemie ou analyser le terrain avant d'envoyer des troupes. L'armée américaine a déjà mené des

tests réussis dans ce domaine, comme le projet JBREWS qui détecte et alerte les troupes de l'utilisation d'armes biologiques.

- ✓ **Applications environnementales** : Les capteurs ont une large gamme d'applications et peuvent être utilisés pour observer divers phénomènes environnementaux. Par exemple, ils sont employés dans les zones forestières pour identifier et alerter les autorités en cas d'incendie potentiel. De plus, des capteurs peuvent être intégrés aux graines pour réguler la quantité d'eau que les plantes reçoivent. Dans les industries, les capteurs sont fréquemment utilisés pour identifier les fuites de produits toxiques et surveiller des paramètres cruciaux tels que les températures des réacteurs nucléaires.
- ✓ **Applications médicales** : Les réseaux de capteurs permettent une surveillance continue des patients et la collecte de données physiologiques de haute qualité, conduisant à un meilleur diagnostic des maladies. Cette technologie peut également être utilisée en milieu chirurgical et pour le suivi à distance des patients à domicile. Un projet spécifique, Project Mercury, porte sur le suivi des patients atteints de la maladie de Parkinson ou d'épilepsie.
- ✓ **Applications à la sécurité** : L'application du RCSF dans le domaine de la sécurité joue un rôle central. Des capteurs peuvent être installés dans les bâtiments pour détecter toute modification de leur structure, ainsi que pour créer un système d'alarme distribué capable d'identifier les intrusions sur une grande surface. Ce type de système de sécurité est très fiable car il n'y a pas de point de défaillance unique.
- ✓ **Applications commerciales** : L'intégration de micro-capteurs dans les produits commerciaux permet le suivi de leurs processus de stockage et de livraison. De plus, dans les bâtiments, des micro-capteurs peuvent être intégrés au sol et au mobilier pour faciliter la conception d'un système de climatisation qui ne s'active que dans les zones où des personnes sont présentes et si nécessaire.



Figure 4 Les applications des réseaux de capteurs sans fils [2]

1.2.4 Consommation d'énergie Capteur

Dans les réseaux de capteurs, il est important d'économiser de l'énergie car les piles ne durent pas très longtemps et il est difficile de les remplacer ou de les recharger. Pour que le réseau dure plus longtemps, nous devons nous assurer que les capteurs ne consomment pas trop d'énergie [3].

- ✓ **Energie de capture** : L'utilisation de l'énergie de capture est requise pour l'exécution de l'échantillonnage, du traitement du signal et de la conversion analogique-numérique. Il est essentiel de noter que l'énergie de capture ne constitue qu'une fraction mineure de la consommation énergétique globale d'un nœud.

- ✓ **Energie de traitement** : L'énergie utilisée dans le traitement est divisée en deux catégories : la première, appelée énergie de commutation, est déterminée par la quantité d'énergie fournie et la capacité du logiciel utilisé pour basculer entre différentes fonctions. La deuxième catégorie est connue sous le nom d'énergie de fuite, qui est la quantité d'énergie consommée lorsque l'unité de traitement est allumée mais n'effectue pas activement de calculs.
- ✓ **Energie de communication** : L'énergie de communication peut être divisée en deux parties : recevoir et transmettre de l'énergie . Ces types d'énergie dépendent de la quantité de données communiquées, de la distance à parcourir et des propriétés physiques du module radio utilisé. La capacité de transmission du signal est déterminée par la quantité d'énergie utilisée. Si la puissance d'émission est augmentée, le signal voyagera plus loin, mais il consommera également plus d'énergie.

Dans le modèle illustré à la figure 5, un émetteur doit consommer de l'énergie pour fonctionner correctement. Cette puissance est utilisée pour faire fonctionner l'électronique et l'amplificateur de l'émetteur. À l'inverse, le récepteur du modèle nécessite également de l'énergie pour faire fonctionner l'électronique radio, qui est dissipée par celui-ci

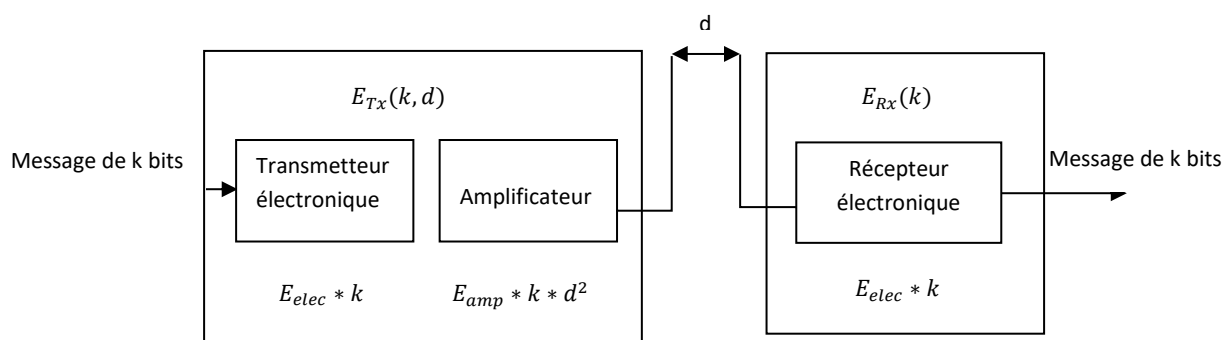


Figure 5 : Modèle de consommation d'énergie [3]

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

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

$$ETx(k, d) = ETx(k) + ETx_{amp}(k, d)$$

Cette formule change selon la distance d.

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

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

$$ERx(k) = k * Eelec$$

Avec :

Eelec : énergie de transmission/réception électronique

k : taille d'un message ;

d : distance entre l'émetteur et le récepteur ;

ETx_amp : énergie d'amplification ;

ξ_{amp} : facteur d'amplification ;

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

1.3 Les défis des réseaux de capteurs sans fils (RCFS) :

L'avancement de la technologie des capteurs sans fil est motivé par diverses exigences d'application. Le principal défi pour les réseaux de de capteurs sans fil (RCSF) est de concevoir un réseau qui prend en compte la capacité énergétique limitée, les ressources limitées, les dispositifs hétérogènes, le déploiement aléatoire et à grande échelle et un environnement imprévisible. Les défis critiques sont discutés ci-dessous.

- ✓ **Le débit** : La fiabilité de la livraison des données et la quantité de données livrées, appelée débit, est une exigence cruciale pour RCSF, qui peut être évaluée par le nombre de paquets reçus à la station de base.
- ✓ **L'énergie et la fiabilité** : Il est important d'assurer une communication fiable tout en étant efficace. Cependant, il est difficile de maintenir l'énergie dans le réseau en raison de la capacité de stockage d'énergie limitée des capteurs du RCSF.

- ✓ **La scalabilité** : L'évolutivité, la capacité d'un réseau de capteurs sans fil à gérer un grand nombre de capteurs, est un aspect crucial qui doit être pris en compte lors de la conception de réseaux de capteurs étendus.
- ✓ **L'hétérogénéité** : La présence à la fois de nœuds à ressources limitées et de nœuds riches en ressources crée de nouvelles difficultés dans des systèmes qui étaient auparavant homogènes. Répondre à cette hétérogénéité nécessite le développement de nouveaux mécanismes.

1.4 Les réseaux WBANs (Wireless body area networks) :

1.4.1 Définition

Les WBANs (Wireless Body Area Networks) sont constitués de différents nœuds situés sur ou à l'intérieur du corps humain. Ces nœuds communiquent sans fil pour recueillir des informations sur l'environnement qui les entoure. Ces informations peuvent ensuite être utilisées dans différentes applications, telles que les soins de santé, l'entraînement militaire et les jeux interactifs. Chaque nœud est constitué d'un émetteur-récepteur radio, d'un processeur et d'une batterie.

1.4.2 Les capteurs médicaux

Un capteur médical est composé d'un capteur et d'un circuit électronique pouvant mesurer un ou plusieurs paramètres physiologiques. Essentiellement, l'électronique spécifique crée le capteur médical.

- **Accéléromètre et Gyroscope** : L'accéléromètre est utilisé pour détecter et suivre la posture du corps, en particulier dans les applications de soins de santé. Ce système de surveillance implique le placement de trois accéléromètres triaxiaux dans des zones stratégiques du corps. De plus, un gyroscope peut être utilisé en conjonction avec des accéléromètres pour mesurer et maintenir l'orientation et surveiller les mouvements physiques.
- **Capteur de glycémie** : il mesure le niveau de glucose dans le sang. L'approche conventionnelle de prélèvement d'un échantillon de sang consiste à piquer un doigt et à extraire une petite gouttelette de sang. Une fois l'échantillon récupéré,

le glucomètre l'analyse et donne une lecture numérique qui indique la concentration de glucose.

- **Le capteur de pression artérielle** : est un capteur spécialement créé pour mesurer les pressions systolique et diastolique du sang humain en utilisant la méthode oscillométrique.
- **Le détecteur de gaz CO₂** : est un appareil utilisé pour déterminer et surveiller la concentration de dioxyde de carbone. Il est conçu pour suivre les fluctuations du niveau de CO₂ et également pour mesurer la quantité d'oxygène présente dans l'atmosphère pendant la respiration.
- **Capteur EEG** : L'électroencéphalographie (EEG) est une méthode utilisée pour étudier le cerveau en mesurant son activité électrique grâce à des électrodes placées sur le cuir chevelu. Ces informations sont ensuite affichées sous la forme d'un tracé appelé électroencéphalogramme. Le but d'un EEG est de fournir un aperçu de l'activité neurophysiologique du cerveau, en particulier du cortex cérébral, à des fins de diagnostic dans le domaine de la neurologie ou pour la recherche en neurosciences cognitives.
- **Capteur ECG** : L'électrocardiographie est une méthode de mesure des signaux électriques produits par le cœur, qui permet d'évaluer l'activité cardiaque. Il produit une représentation graphique du potentiel électrique qui contrôle l'activité du muscle cardiaque et peut détecter des anomalies. Il est utilisé dans la recherche en cardiologie, en neurologie et en neurosciences cognitives. Le potentiel est collecté par des électrodes à la surface de la peau.
- **Capteur Oxymétrie de pouls (SpO₂)** : L'oxymétrie de pouls est un moyen de mesurer la quantité d'oxygène dans le sang. Il utilise un petit clip avec un capteur attaché au doigt. Le capteur envoie un signal lumineux à travers la peau pour mesurer le rapport entre l'hémoglobine oxygénée et l'hémoglobine totale dans le sang artériel. Cette mesure est exprimée en SpO₂.
- **Capteur EMG** : L'électromyogramme est un test qui mesure l'activité électrique des muscles ou des nerfs. Il utilise un capteur pour suivre les signaux électriques produits par les muscles à la fois lorsqu'ils se contractent et lorsqu'ils sont au repos. Ce test peut identifier les dommages aux muscles et aux nerfs périphériques.

- **Capteurs de température et d'humidité** : Le capteur de température mesure la température du corps humain ou de l'environnement, tandis que le capteur d'humidité mesure l'humidité de l'environnement. Si un certain nombre de changements sont détectés, une alarme peut être déclenchée.

Le tableau suivant résumera les capteurs médicaux et ses fonctions :

Le capteur	La fonction
Accéléromètre et Gyroscope	Détecter et suivre la posture du corps
Capteur de glycémie	Mesure le niveau de glucose dans le sang.
Capteur de pression artérielle	Mesurer les pressions systolique et diastolique du sang
Détecteur de gaz CO2	Déterminer et surveiller la concentration de dioxyde de carbone.
Capteur EEG	Étudier le cerveau en mesurant son activité électrique
Capteur ECG	Mesure des signaux électriques produits par le cœur
Capteur EMG	Mesure l'activité électrique des muscles ou des nerfs.
Capteur Oxymétrie de pouls (SpO2)	Mesurer la quantité d'oxygène dans le sang.
Capteurs de température et d'humidité	Mesure la température du corps humain ou de l'environnement.

Tableau 1 les capteurs du WBANS et ses fonctions

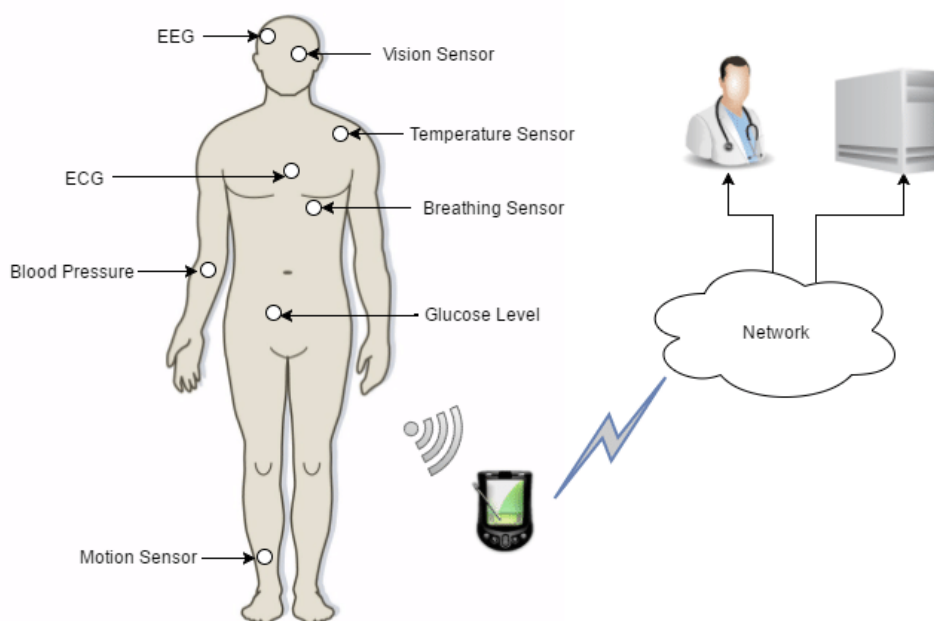


Figure 6 Un réseau corporel sans fils [4]

1.4.3 Architecture des réseaux WBANs

Le réseau corporel sans fil est une architecture à trois niveaux, comme le montre la figure 7 ci-dessous.

- **Intra ban communications** : La communication autour du corps des capteurs entre eux et la communication entre les capteurs et le nœud de collecte.
- **Inter ban communications** : Ce type de communication se fait entre le nœud de collecte et un ou plusieurs points d'accès. Les points d'accès peuvent faire partie de l'infrastructure ou être stratégiquement placés dans un environnement dynamique en cas d'urgence.
- **Hors ban communications** : Ce type de communication consiste à se connecter à l'inter ban (entre le point d'accès et le personnel médical) afin d'effectuer une analyse en temps réel des données des capteurs.

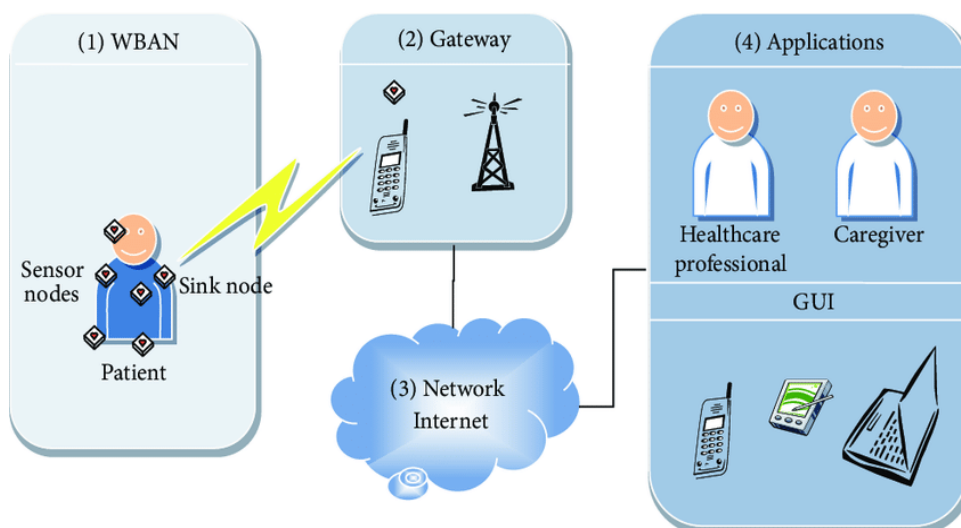


Figure 7 L'architecture d'un réseau WBAN [5]

1.4.4 Topologies des WBANs

Les capteurs sans fil communiquent entre eux en utilisant différentes topologies comme indiqué dans la figure ci-dessous :

- **Topologie point à point** : La topologie point à point est le type de réseau le plus simple, car il n'utilise que deux capteurs reliés par une seule liaison. Cela facilite l'utilisation d'un protocole simple à haut débit et à faible latence, par rapport à ses autres fonctionnalités qui sont limitées ainsi qu'à sa faible couverture.

- **Topologie en étoile :** Cette topologie a un capteur central qui se connecte avec tous les autres capteurs. Le capteur central est "l'intermédiaire" entre les capteurs, car ils ne peuvent jamais échanger directement des informations entre eux.
- **Topologie en maille :** Les capteurs peuvent communiquer entre eux via n'importe quel autre capteur sur le réseau, de sorte que le réseau est connecté. Si un capteur veut envoyer des informations à un capteur qui est hors de portée, il peut utiliser un capteur intermédiaire pour le faire. Cette topologie a une bonne couverture, mais elle consomme beaucoup d'énergie à cause des communications entre les nœuds.
- **Topologie en arbre :** Les capteurs sont comme un arbre généalogique. Chaque capteur a un père et un fils, ce qui signifie que les connexions entre les capteurs sont hiérarchisées. Cette topologie divise le réseau en sous-parties devient plus facile à gérer, mais les nœuds parents consomment beaucoup d'énergie.

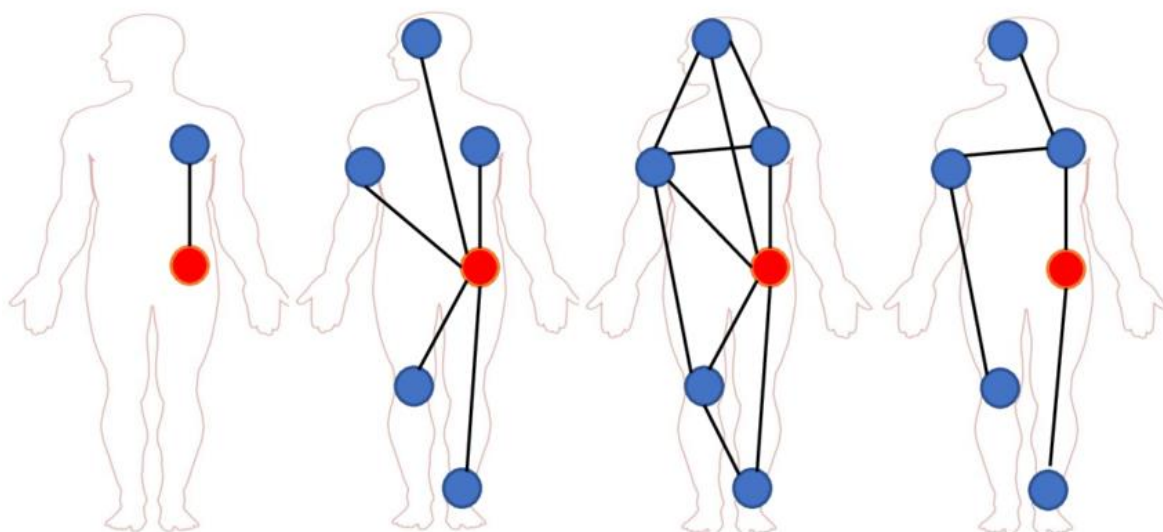


Figure 8 Topologie des réseaux WBANs [6]

1.4.5 WBANs Technologies et standards

Il existe un certain nombre de technologies normalisées utilisées dans la recherche WBAN :

- **Bluetooth :** Bluetooth est une technologie idéale pour les réseaux de capteurs corporels et permet d'observer des informations sur le corps humain. Lorsqu'une minuscule puce Bluetooth est installée dans les systèmes, elle crée un réseau

personnel sans fil qui permet de communiquer avec un autre appareil de l'utilisateur situé à proximité.

- **Zigbee** : Zigbee est un réseau utilisé pour la communication entre les appareils des réseaux personnels (PAN) et les réseaux de capteurs corporels. Il est basé sur la norme IEEE 802.15.4 et peut être crypté avec des mots de passe de 128 bits. Zigbee est pris en charge par des réseaux arborescents, en étoile et maillés, chaque appareil nécessitant un coordinateur. Le réseau fonctionne à 2,4 GHz et peut transmettre des données à une vitesse de 252 kbps.
- **IEEE 802.15.6** : La norme IEEE 802.15.6 est la meilleure norme pour les réseaux de corps sans fil. Il utilise différentes bandes de fréquences pour la transmission de données, notamment la bande étroite (NB) qui comprend les bandes 400, 800, 900 MHz et 2,3 et 2,4 GHz, 900 MHz et les bandes 2,3 et 2,4 GHz ; Ultra Wideband (UWB) 4, qui utilise des bandes de 3,1 à 11,2 GHz ; et la communication du corps humain (HBC) qui utilise des fréquences dans la gamme 1050 MHz. Cette norme est conçue spécifiquement pour être utilisée avec une large gamme de débits de données et différentes priorités de nœuds en fonction de l'application.
- **IEEE 802.11** : IEEE 802.11 est un ensemble de normes pour les réseaux locaux sans fil (WLAN). Basé sur les normes IEEE 802.11, le Wifi permet aux utilisateurs de surfer sur Internet à des vitesses élevées lorsqu'ils sont connectés à un point d'accès ou en mode ad hoc. Il convient parfaitement aux transferts de données importants en fournissant une connectivité sans fil à haut débit et en permettant la vidéoconférence, les appels vocaux et le streaming vidéo.



Figure 9 La technologie Bluetooth dans le réseau WBANs [7]

1.4.6 Les différences entre WSNs et WBANs

Le WBAN est une branche spéciale du WSN qui a des caractéristiques différentes de celles du réseau principal. Une comparaison détaillée des deux est présentée dans le tableau suivant :

L'aspect	WSN	WBAN
Échelle	Environnement surveillé (mètres / kilomètres)	Le corps humain (centimètres/mètres)
Nombre de nœuds	Des centaines	Douzaines
La topologie	Inchangés	Changés
L'énergie des nœuds	Limité, mais remplaçable	Limité et irremplaçable
Placement des nœuds	Facilement	Difficile
Vie des nœuds	Mois/années	Plus c'est long mieux c'est
Le niveau de sécurité	Faible	Plus élevé pour la protection des informations relatives au patient
Le standard	IEEE 802.11.4	IEEE 802.15.6

Tableau 2 Comparaison entre WSNs et WBANs

1.4.7 Les défis d'un réseau WBAN

Le WBAN est une technologie appliquée au corps humain, son environnement réseau est donc très complexe. Étant donné que les données physiologiques collectées ont un impact important sur la vie et la santé humaines, il est très important de connaître les défis et les problèmes de ce réseau.

- **Consommation d'énergie** : Le WBAN a besoin d'énergie pour fonctionner correctement, il a donc besoin d'une alimentation continue.
- **Portée** : La portée WBAN est limitée, à quelques mètres du corps. Par conséquent, une communication sans fil fiable est effectuée à l'intérieur ou à proximité du corps humain.

- **Sécurité** : En raison de la faible alimentation, il est difficile d'inclure des mécanismes de sécurité élaborés.
- **Emplacement** : Il peut être difficile de mettre beaucoup de nœuds dans une petite zone.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait un survol sur les réseaux de capteurs sans fil et leur architecture et applications. Nous avons ensuite défini les réseaux corporels sans fil, leurs architectures, topologies et technologies.

Enfin, nous avons examiné la différence entre les réseaux de capteurs sans fil et les réseaux corporels sans fil, ainsi que les défis auxquels les réseaux corporels sans fil sont confrontés.

Chapitre 2 Les protocoles de routage dans les WBANs

2.1 Introduction

En raison des caractéristiques uniques des WBAN, telles que la topologie dynamique, les ressources énergétiques limitées et la nécessité d'une livraison fiable des données, les protocoles de routage jouent un rôle crucial pour garantir le fonctionnement efficace et effectif du réseau. Dans ce chapitre, nous donnons un aperçu des différents types de protocoles de routage qui ont été proposés pour les WBAN, y compris les protocoles thermiques, posturaux, à couches croisées, en clusters et basés sur la qualité de service. Nous discutons des principales caractéristiques et des avantages de chaque protocole, ainsi que de leurs limites et de leurs défis. Nous comparons également ces protocoles sur la base de leurs mesures de performance, telles que la consommation d'énergie et le délai.

2.2 Les défis de routage dans WBANs

Les réseaux sans fil pour le corps humain (WBANs) sont confrontés à plusieurs défis et problèmes qui doivent être surmontés pour garantir le succès de leur mise en œuvre et de leur fonctionnement. Voici quelques-uns des principaux défis et problèmes que posent les réseaux WBANs :

- **L'efficacité énergétique :** L'efficacité énergétique est une question cruciale dans les WBAN, car de nombreux nœuds du réseau sont alimentés par des batteries et disposent de ressources énergétiques limitées. Cette source d'énergie limitée peut avoir un impact sur le fonctionnement et la longévité du réseau, d'où la nécessité d'utiliser des techniques et des protocoles efficaces sur le plan énergétique afin d'optimiser la consommation d'énergie.
- **Mouvements du posturaux de corps :** Les mouvements posturaux du corps peuvent constituer un problème important dans les WBAN, car ils peuvent entraîner des changements dans la force du signal et la qualité de la communication sans fil entre les nœuds. Ces changements peuvent entraîner des pertes de données, des erreurs de transmission et une réduction des performances du réseau.
- **La température :** La température est un problème sérieux dans les WBAN car les capteurs utilisés dans le réseau peuvent être affectés par des changements de température. Les changements de température peuvent entraîner des variations dans la sortie des capteurs et réduire la précision des données collectées par le réseau. Il

est donc essentiel d'aborder la question de la température dans les réseaux WBAN afin de garantir la précision et la fiabilité des données collectées.

- **Environnement hétérogène :** Dans les réseaux sans fil pour le corps humain (WBAN), la question de l'environnement hétérogène se réfère à des situations où différents nœuds ou capteurs du réseau fonctionnent dans des conditions différentes. Cela peut être dû à des différences dans les capacités matérielles, la capacité de stockage ou la consommation d'énergie.
- **La tolérance aux pannes :** se réfère à la capacité du réseau à continuer à fonctionner en présence de pannes ou de défaillances dans un ou plusieurs composants du réseau. Les défaillances peuvent survenir pour diverses raisons, telles que des pannes matérielles, des facteurs environnementaux ou des interférences externes, et peuvent avoir une incidence sur les performances globales du réseau. Dans ces cas, le réseau doit être capable de détecter ce type d'erreur et d'y remédier.
- **La sécurité :** La sécurité est une question importante dans les réseaux sans fil pour le corps humain (WBAN), qui se réfère à la protection des données sensibles transmises sur le réseau contre l'accès, la modification ou la divulgation non autorisés. Dans les WBAN, les données transmises peuvent inclure des informations personnelles sensibles, telles que les dossiers médicaux des patients, qui doivent être protégées contre les cyber-attaques et les accès non autorisés.
- **La portée de transmission :** La portée de transmission est un problème sérieux dans les réseaux sans fil pour le corps humain (WBAN), qui se réfère à la distance sur laquelle un nœud peut communiquer avec d'autres nœuds dans le réseau. La portée de transmission d'un nœud WBAN est limitée par plusieurs facteurs, tels que la puissance du signal de transmission, la sensibilité du récepteur et la présence d'obstacles, comme le corps humain. La question de la portée de transmission est particulièrement importante dans les WBAN, car les nœuds sont généralement situés sur ou à proximité du corps humain, ce qui peut créer des interférences et une atténuation du signal. Le corps humain est un environnement complexe, avec des niveaux variables de densité des tissus et de teneur en eau, qui peuvent affecter la transmission des signaux radio.

2.3 Les protocoles de routage dans les WBANS

Les protocoles de routage dans les WBANS peuvent être classés entre eux selon cinq critères :

2.3.1 Les protocoles basés sur la température

Les protocoles de routage sensibles à la température sont conçus pour résoudre le problème de la dissipation de la température dans les réseaux sans fil pour le corps humain (WBAN), qui peut constituer un défi important en raison de la forte densité de nœuds et de l'espace limité disponible pour la dissipation de la température.

Dans les WBAN, les nœuds sont généralement situés sur ou près du corps humain, ce qui peut créer des points chauds localisés en raison de la chaleur générée par les nœuds. Cette chaleur peut entraîner une gêne, voire des lésions cutanées, pour la personne qui la porte et peut également affecter les performances des nœuds et du réseau dans son ensemble.

Pour résoudre ce problème, des protocoles de routage tenant compte de la température ont été proposés, qui visent à acheminer les données à travers le réseau de manière à minimiser la production de chaleur et à maximiser la dissipation de la chaleur. Ces protocoles prennent en compte les caractéristiques thermiques des nœuds et de l'environnement, telles que la température corporelle et la température ambiante, afin d'optimiser le chemin d'acheminement.

- a) **Thermal Aware Routing Protocol (TARA)** : L'objectif principal de TARA [39,30,20] est de réduire l'accumulation de température causée par les appareils portables et le corps humain. Lorsque des paquets de données sont transmis sur le réseau, ils génèrent de la chaleur, ce qui peut provoquer une gêne ou même blesser le porteur si la température augmente trop. TARA vise à minimiser cet impact thermique en sélectionnant des chemins de routage qui répartissent la chaleur uniformément sur les appareils portables et évitent les points chauds qui peuvent provoquer des augmentations de température localisées. TARA y parvient en utilisant des capteurs de température pour surveiller la température des appareils portables et de leur environnement. L'algorithme calcule ensuite l'impact thermique de chaque chemin de routage potentiel et sélectionne le chemin avec l'impact thermique le plus faible. Il distribue également les paquets

de données uniformément sur les nœuds du réseau pour éviter la congestion et réduire davantage l'accumulation de température.

- b) **Least Temperature Routing (LTR) :** LTR [36] vise à minimiser la contrainte thermique sur les appareils en sélectionnant les chemins de routage qui ont la température la plus basse. L'algorithme détermine la température des appareils et de leur environnement à l'aide de capteurs de température, puis calcule la température de chaque chemin de routage potentiel. Le chemin avec la température la plus basse est alors sélectionné pour la transmission des données.

- c) **Adaptive Threshold-based Thermal-aware Energy-efficient Multihop Protocol (ATTEMPT) :** L'objectif principal de ATTEMPT [18,21] est d'améliorer l'efficacité énergétique des réseaux de capteurs sans fil grâce à la communication multi-sauts tout en tenant compte des contraintes thermiques. L'objectif est d'atteindre une consommation d'énergie optimale sans compromettre les performances des équipements du réseau, en tenant compte de l'impact de la température sur le système.

2.3.2 Les protocoles basés sur la posture

Les protocoles de routage tenant compte de la posture sont conçus pour résoudre le problème de la posture et du mouvement du corps dans les réseaux sans fil pour le corps humain (WBAN). Dans les WBAN, les nœuds sont généralement attachés ou implantés dans le corps humain, ce qui peut poser des problèmes en termes de maintien de la communication entre les nœuds lorsque la posture et les mouvements du corps changent.

Les protocoles de routage tenant compte de la posture prennent en considération les changements de posture et de mouvement du corps pour optimiser le chemin de routage entre les nœuds du réseau. Ces protocoles peuvent améliorer la fiabilité et l'efficacité du réseau, ainsi que prolonger la durée de vie de la batterie des nœuds.

- a) **Opportunistic :** OP [23] est un type de protocole de routage utilisé dans les réseaux ad hoc sans fil. Il est conçu pour améliorer l'efficacité et la fiabilité de la transmission de données en exploitant la nature de diffusion des communications

sans fil. Dans les protocoles de routage traditionnels, chaque paquet est transmis le long d'un chemin prédéterminé de la source au nœud de destination. Cependant, dans OR, chaque nœud du réseau est autorisé à sélectionner de manière opportuniste son nœud de transfert en fonction de la qualité de sa liaison sans fil et des informations sur les autres nœuds du réseau. Cela permet une transmission de données plus efficace et plus fiable car les données peuvent être transmises sur plusieurs chemins, et le meilleur chemin peut être choisi en fonction des conditions actuelles du réseau.

b) Mobility handling Routing Protocol (MHRP) : MHRP [22] est un protocole de routage conçu pour les réseaux sans fil (WBAN) qui prend en compte la mobilité des nœuds du réseau. MHRP utilise une combinaison de techniques telles que le routage saut par saut, le multi- routage de chemin et réacheminement dynamique pour s'adapter aux conditions changeantes du réseau et assurer une livraison fiable des données. Le protocole utilise des algorithmes de prédiction de mobilité pour estimer l'emplacement futur des nœuds et sélectionner le meilleur chemin de routage possible. Il prend également en compte les contraintes énergétiques des nœuds et vise à minimiser la consommation d'énergie tout en assurant une livraison fiable des données.

c) Network Management Cost Minimization Framework (NCMD) : NCMD [33] est une méthode utilisée pour optimiser les coûts associés à la gestion des ressources du réseau dans les systèmes de télécommunications. L'objectif de la NCMD est de minimiser les coûts de gestion du réseau tout en maintenant ou en améliorant la qualité du service fourni aux utilisateurs finaux. La NCMD y parvient en analysant différents scénarios de gestion de réseau et en identifiant la combinaison optimale de ressources et de pratiques de gestion pour atteindre les niveaux de service souhaités au coût le plus bas possible. Il prend en compte des facteurs tels que la topologie du réseau, le volume du trafic, les exigences de service et la disponibilité des ressources.

2.3.3 Les protocoles inter-couches

Les protocoles de routage multicouches dans les réseaux corporels sans fil (WBAN) sont conçus pour améliorer les performances et l'efficacité du réseau en permettant la

communication et la coordination entre les différentes couches de la pile de protocoles du réseau.

Dans l'architecture de réseau traditionnelle, chaque couche de la pile de protocoles (comme les couches : physique, MAC, réseau et application) fonctionne indépendamment des autres couches. Cependant, dans les protocoles de routage multicouches, les différentes couches sont capables de communiquer entre elles et de partager des informations afin d'optimiser le chemin de routage et d'améliorer les performances globales du réseau.

a) Time zone Coordinated Sleep Scheduling (TICOSS) : TICOSS [24] est un mécanisme qui fournit un support multi-sauts sur la norme 802.15.4. Il s'inspire du protocole MERLIN, également conçu pour les réseaux sans fil multi-sauts. Le mécanisme TICOSS utilise une approche de coordination temporelle pour programmer les super trames dans le réseau. Les super trames sont un concept de la norme 802.15.4 qui divise le temps en une série de périodes, chaque période étant constituée d'une balise et d'un certain nombre de créneaux de données. TICOSS utilise la balise pour synchroniser les nœuds du réseau, puis planifie les créneaux de données de manière opportuniste en fonction de la disponibilité des nœuds voisins.

b) Wireless Autonomous Spanning Tree Protocol (WASP) : WASP [34] est un protocole utilisé dans les réseaux maillés sans fil pour garantir une transmission efficace et fiable des données entre les nœuds. Le protocole construit une topologie de réseau arborescente avec un nœud agissant comme la racine et tous les autres nœuds agissant comme des branches. L'objectif principal du WASP est de minimiser le nombre de sauts que les paquets de données doivent effectuer entre les nœuds pour atteindre leur destination. Ce faisant, le protocole réduit la latence globale et améliore les performances du réseau. Le WASP permet également d'éviter les boucles et les collisions de paquets qui peuvent se produire dans les réseaux sans fil.

c) Cascading Information retrieval by Controlling Access with Distributed Slot Assignment (CICADA) : CICADA [25] peut être utilisé dans les WBAN pour organiser les capteurs en une structure arborescente de réseau qui contribue à améliorer l'efficacité de la communication entre les capteurs. En utilisant l'attribution distribuée de créneaux pour contrôler l'accès aux ressources du réseau, CICADA

contribue à minimiser la communication redondante dans le réseau et à garantir que les requêtes et les réponses sont acheminées efficacement entre les capteurs.

2.3.4 Les protocoles basés sur le clustering

Les protocoles de routage en cluster dans les réseaux corporels sans fil (WBAN) sont conçus pour améliorer les performances et l'évolutivité du réseau en divisant le réseau en clusters, chaque cluster ayant une tête de cluster désignée qui sert de nœud central pour la communication et la coordination au sein du cluster.

L'idée de base des protocoles de routage en cluster est de réduire les frais généraux de communication et la consommation d'énergie en limitant le nombre de communications entre les nœuds. Dans un réseau en grappe, chaque nœud ne communique qu'avec sa tête de grappe, qui communique ensuite avec les autres têtes de grappe du réseau.

a) Hybrid indirect transmission (HIT) : [26] les capteurs sont organisés en clusters, chaque cluster étant doté d'une tête de cluster désignée. Les capteurs du cluster envoient leurs données à la tête du cluster, qui les transmet ensuite à un nœud central ou puits (sink). Ce processus réduit le nombre de transmissions nécessaires, ce qui permet d'économiser de l'énergie et de réduire la probabilité d'interférences. HIT utilise une combinaison de deux modes de transmission : la transmission directe et la transmission multi-sauts. La transmission directe est utilisée lorsque la tête du cluster est à portée du capteur, et la transmission multi-sauts est utilisée lorsque la tête du cluster est hors de portée. Cette technique offre un équilibre entre l'efficacité énergétique et la fiabilité des données.

b) Anybody : Le protocole AnyBody [27] vise à améliorer l'efficacité énergétique et la fiabilité de la communication dans les WBAN en s'adaptant aux changements dans la topologie du réseau et en ajustant la puissance de transmission des nœuds. Comme LEACH, AnyBody utilise une approche de regroupement, où les nœuds sont organisés en clusters, et chaque cluster a une tête de cluster désignée qui communique avec la station de base. Dans AnyBody, les têtes des clusters jouent le rôle de sélection du prochain saut pour l'acheminement des données, ce qui permet une utilisation plus efficace des ressources du réseau. Le protocole utilise également une

approche probabiliste pour sélectionner la tête de cluster, ce qui permet de répartir uniformément la consommation d'énergie entre les nœuds.

2.3.5 Les protocoles basés sur le QoS

Les protocoles de routage basés sur la qualité de service (QoS) dans les réseaux corporels sans fil (WBAN) sont conçus pour assurer une transmission fiable et efficace des données avec des niveaux de qualité de service garantis.

Dans le routage basé sur la qualité de service, la décision de routage est basée sur les exigences de l'application ou du service fourni. Les paramètres de qualité de service qui peuvent être pris en compte sont la largeur de bande, le délai, la fiabilité et la consommation d'énergie.

- a) **Localized multi objective routing protocol (LOCALMOR)** : Le protocole LOCALMOR [35] est un protocole multi-objectif qui vise à atteindre simultanément trois objectifs principaux : l'efficacité énergétique, la réduction des délais et la fiabilité. Le protocole atteint ces objectifs en utilisant la prise de décision localisée à chaque nœud, ce qui permet aux nœuds de prendre des décisions de routage basées sur des informations locales et d'éviter la nécessité d'un contrôle centralisé.
- b) **Data-centric multi objective QoS-aware Routing protocol (DMQoS)** : DMQoS [28] est un protocole de routage proposé pour les réseaux corporels sans fil (WBAN). Ce protocole vise à assurer une transmission fiable et rapide des données en respectant les exigences de qualité de service (QoS). Le protocole DMQoS est un protocole centré sur les données qui utilise une approche d'optimisation multi-objectifs pour acheminer les paquets de données dans le réseau. Le protocole prend en compte plusieurs objectifs, tels que la consommation d'énergie, le délai et la fiabilité, afin d'optimiser la décision d'acheminement pour chaque paquet.
- c) **Efficient Next hop Selection Algorithm (ENSA-BAN)** : ENSABAN [37] vise à améliorer l'efficacité énergétique du réseau en sélectionnant le prochain saut le plus économe en énergie pour la transmission des données. L'algorithme utilise une approche saut par saut, où chaque nœud sélectionne le saut suivant en

fonction de la consommation d'énergie des sauts suivants possibles et de l'énergie restante des nœuds dans le réseau. L'algorithme ENSABAN utilise une nouvelle mesure appelée l'énergie résiduelle attendue (ERE) pour estimer l'énergie restante des nœuds du réseau. L'ERE tient compte de l'énergie consommée pendant la transmission des données et de l'énergie nécessaire aux nœuds pour maintenir leur communication avec les autres nœuds.

- d) stable increased throughput multi hop protocol for Link efficiency in WBANs (SIMPLE) :** Le protocole SIMPLE [12] vise à améliorer l'efficacité de la liaison et le débit de la communication multi-sauts dans les WBAN en réduisant le nombre de collisions de paquets et en améliorant la fiabilité de la transmission des données.

La figure suivante est un résumé de la classification des protocoles de routage dans WBANs :

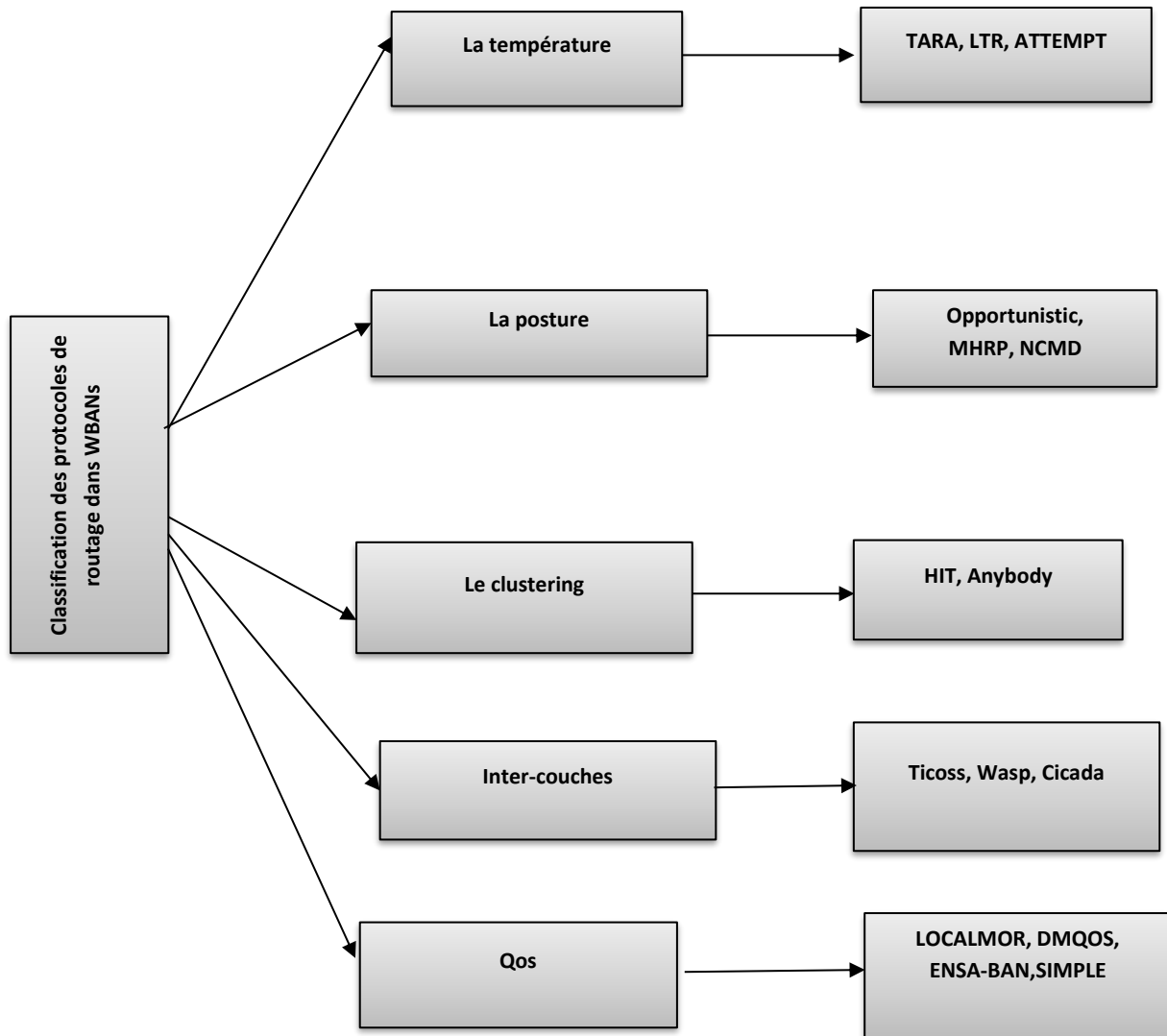


Figure 10 Classification des protocoles de routage pour les WBANs

Tableau 3 : Analyse comparative entre les protocoles de routage dans les WBANs

Protocole	Caractéristiques				Catégorie	Comparé à	Applications
	Latence	Efficacité énergétique	Objective	Validation			
Tara (Thermal Aware Routing Protocol) [39], [30],[20]	Élevé	Bas	Éviter les nœuds à haute température	Matlab	Température	Le saut le plus court	Applications telles que la rétine greffes et cancer La détection s'appuie sur réseaux de capteurs.
LTR (Least temperature routing) [36]	Élevé	Bas	Réduire l'augmentation de la température et la consommation d'énergie	—		SHR, TARA	—
ATTEMPT [21], [18]	Bas	Élevé	Réduire température, consommation énergie, latence moyenne	Matlab		Multi saut	WBANs homogènes et hétérogènes
Opportunistic [23]	—	Élevé	Augmenter la durée de vie du réseau	—	La posture	plus court saut , multi saut	—
MHRP (Mobility handling routing Protocol) [22]	Bas	Élevé	Surveillance cardiaque, environnement dynamique	—		Opportunistic	—
NCMD (Network management cost minimization framework) [33]	Élevé	Bas	Traitement topologique des fractures, environnement dynamique	Matlab		JSOT, OPS	—
TICOSS (Time zone coordinated sleep Scheduling) [24]	—	Élevé	Amélioration de l'IEEE Norme 802.15.4	Omnet++	Cross-layered(in ter-couche)	802.15.4 sans TICOSS	Surveillance continue des signes vitaux à l'aide de nœuds de capteurs environnementaux distribués

WASP (Wireless Autonomous Spanning Tree protocol) [34]	Bas	Élevé	Réduction de la consommation d'énergie, PLR et latence moyenne	Nsclick	Cross-layered(in ter-couche)	CSMA	Pour une utilisation dans les limites d'un hôpital pour le suivi des patients.
CICADA (Cascading information retrieval by Controlling Access with Distributed Slot assignment) [25]	Bas	Élevé	Réduction de la consommation d'énergie et la latence moyenne	Nsclick		WASP	Dans le cadre de capteurs où la puissance de traitement est limitée
HIT (Hybrid indirect transmission) [26]	Bas	Élevé	Augmenter la durée de vie du réseau	—	Clustered	LEACH, PEGASIS, direct	Interfaces informatiques bioélectriques, réseaux de biocapteurs, signaux biomédicaux (tels que EEG et EMG)
Anybody [27]	—	Moyenne	Diviser le réseau en clusters et envoyer efficacement les paquets de la source au puits	—		LEACH	Surveillance des patients hospitalisés à intervalles réguliers
LOCALMOR (Localized multi objective routing protocol) [35]	Bas	Élevé	Assistance pour la QoS en fonction de la conception des données	GloMoSim	Qos	SPEED, MMSPEED EAGFS, GFW	Applications de trafic étendu, médical et liés à la santé
DMQoS (Data-centric multi objective QoS-aware Routing protocol) [28]	Bas	Élevé	Obtenir les meilleurs services de QoS pour différents types de données	Ns2		MMSPEED LOCALMOR DARA	WBANs à ressources limitées
ENSA-BAN (Efficient Next hop Selection Algorithm) [37]	Bas	Élevé	Réduire la consommation d'énergie, la latence moyenne	Ns2		DMQOS	Réseaux de capteurs pour la surveillance continue des soins de santé
SIMPLE (Stable increased-throughput multihop protocol for Link efficiency) [12]	Bas	Élevé	Augmenter la période de stabilité du réseau et les paquets livrés au puits	Matlab		ATTEMPT	—

2.4 Discussion

Les réseaux corporels sans fil ont fait l'objet d'une attention croissante ces dernières années en raison de leur potentiel en matière de surveillance continue et non invasive des soins de santé. Les protocoles de routage jouent un rôle essentiel pour assurer une transmission efficace et fiable des données dans les WBAN.

Sur la base de l'état de l'art, il est clair que les protocoles de routage pour les WBAN deviennent de plus en plus spécialisés et diversifiés, avec le développement de protocoles qui prennent en compte divers aspects tels que la température, la posture, le clustering, l'optimisation inter-couches et la qualité de service.

- Les protocoles de routage tenant compte de la température [30,39,18,20,21,36] prennent en compte l'impact de la température corporelle sur la fiabilité et l'efficacité de la transmission des données. D'un autre côté, ils peuvent nécessiter du matériel supplémentaire pour mesurer la température, ce qui peut augmenter la complexité et le coût.
- Les protocoles de routage tenant compte de la posture [22,23,33] prennent en considération les effets de la posture et des mouvements du corps sur la qualité du signal et la connectivité des nœuds, ce qui améliore la connectivité du réseau et réduit la perte de paquets, mais peut nécessiter du matériel ou des capteurs supplémentaires pour mesurer la posture, ce qui peut accroître la complexité et le coût.
- Les protocoles de routage en cluster [26,27] organisent le réseau en clusters pour réduire la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie du réseau, mais ils peuvent avoir une évolutivité limitée et ne pas convenir à tous les types d'applications WBAN.
- Les protocoles de routage optimisés sur plusieurs couches [24,25,34] prennent en compte les interactions entre les différentes couches de la pile de protocoles du réseau afin d'optimiser les performances du réseau. Par contre, ils peuvent nécessiter une architecture de réseau plus complexe et être plus difficiles à mettre en œuvre et à maintenir.
- Les protocoles de routage sensibles à la qualité de service [12,28,35,37] prennent en compte les exigences des différents types de trafic, tels que le trafic sensible et tolérant aux retards, et fournissent des services de routage différenciés, mais leur

mise en œuvre peut nécessiter une surcharge et une complexité supplémentaires du réseau.

Bien qu'il existe de nombreux protocoles de routage pour les WBAN, chacun ayant ses propres avantages et inconvénients, le développement de nouveaux protocoles continue d'être un domaine de recherche actif. Les recherches futures se concentreront probablement sur le développement de protocoles plus efficaces sur le plan énergétique, plus fiables et plus évolutifs, tout en tenant compte des caractéristiques uniques de l'environnement WBAN.

En outre, l'intégration de techniques d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle dans les protocoles de routage peut également constituer une approche prometteuse pour relever les défis des WBAN, tels que l'hétérogénéité et l'imprévisibilité des données.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les protocoles de routage dans les WBAN en fonction de cinq aspects, à savoir la température, la posture, le clustering, les couches croisées et la qualité de service, et les avons comparés en termes de mesures de performances, notamment l'efficacité énergétique, le débit et le délai.

En conclusion, le développement de protocoles de routage efficaces et efficaces est crucial pour relever les défis des WBAN et garantir la transmission fiable et efficace des données. Chacun des protocoles de routage examinés dans ce chapitre offre des avantages et des considérations uniques qui peuvent être adaptés à des applications ou à des conditions de réseau spécifiques.

Chapitre 3 Contribution

3.1 Introduction

Après avoir étudié les réseaux corporels sans fils (WBANs), à travers les chapitres précédents, nous allons présenter dans ce chapitre notre contribution dans le domaine du routage sur ce type de réseaux.

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

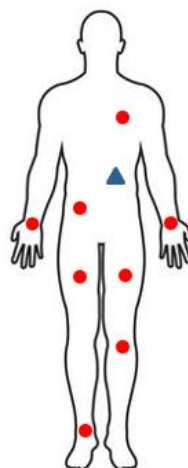
3.2 Protocole Simple

Le protocole SIMPLE (Stable Increased Throughput Multihop Protocol for Link Efficiency) est un protocole de réseau corporel sans fil (WBAN) conçu pour améliorer l'efficacité de la liaison entre les capteurs et réduire la consommation d'énergie dans les applications médicales .

3.2.1. Le déploiement des nœuds

- Huit nœuds de capteurs sont déployés sur le corps humain.
- Tous les nœuds de capteurs ont une puissance et un calcul égaux capacités.
- Le nœud sink est placé au flanc.
- Le nœud d 'ECG et le nœud capteur de glucose transmettent les données directement au puits.

la figure suivante montre le placement des nœuds sur le corps humain :



▲ : puits ● : nœud

Figure 11 déploiement des nœuds du protocols simple

3.2.2. Les phases de SIMPLE

- ✓ **Phase initiale** : Le puits diffuse un paquet contenant sa position sur le corps. Après avoir reçu ce paquet, les nœuds de capteurs diffusent un paquet d'informations contenant l'ID du nœud, sa localisation et son état énergétique, afin que chaque nœud de capteurs soit informé de la localisation de ses voisins et du puits.
- ✓ **Sélection du prochain saut** : Pour équilibrer la consommation d'énergie entre les nœuds de capteurs et réduire la consommation d'énergie du réseau, le protocole SIMPLE élit un nouveau transitaire à chaque tour. Puisque le puits connaît l'ID, la localisation et l'état de l'énergie résiduelle de chaque nœud, il calcule la fonction de coût de chaque nœud et la transmet à tous les nœuds, sur la base de cette fonction, chaque nœud décide s'il doit devenir un nœud transitaire ou non.

La fonction de coût : $C.F(i) = d(i)/R.E(i)$

- d_i est la distance entre le nœud i et le puits,
- $R.E_i$ est l'énergie résiduelle du nœud i et est calculée en soustrayant

- ✓ **L'ordonnement (Scheduling)** : le nœud transitaire attribue à ses nœuds enfants des créneaux horaires basés sur l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA), afin qu'ils envoient leurs données au nœud transitaire à l'heure prévue ; lorsque le nœud n'a pas de données à envoyer, il passe en mode inactif, ce qui minimise la dissipation d'énergie de chaque nœud capteur.

3.3 Protocole ATTEMPT

ATTEMPT (Adaptive Threshold-based Thermal-aware Energy-efficient Multihop Protocol) est un protocole de routage spécialement conçu pour les réseaux sans fil pour le corps humain (WBAN). L'objectif du protocole est d'améliorer l'efficacité énergétique des WBAN tout en maintenant un niveau de performance satisfaisant en termes de délai, de perte de paquets et de durée de vie du réseau.

3.3.1. Le déploiement des nœuds

- Les nœuds de capteurs sont hétérogènes.

- le puits est placé au centre du corps humain, les autres nœuds de capteurs sont placés dans l'ordre décroissant de leur débit de données par rapport au puits.

la figure suivante montre le placement des nœuds sur le corps humain.

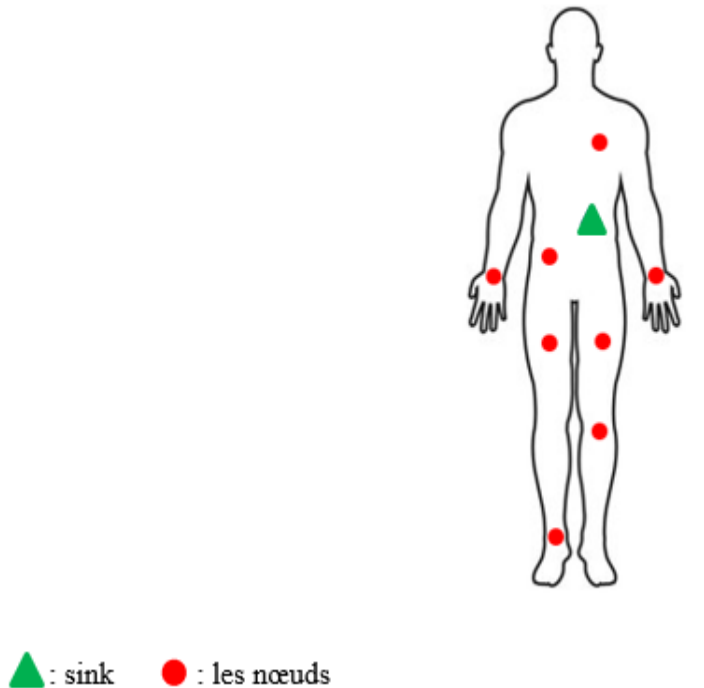


Figure 12 le déploiement des nœuds du protocole ATTEMPT

3.3.2. Les phases de ATTEMPT

- ✓ **Phase initiale** : Dans la phase initiale, tous les nœuds de capteurs diffusent des messages Hello. Ce message contient des informations sur les voisins et la distance des nœuds puits sous la forme d'un nombre de sauts, de sorte que tous les nœuds sont informés de leurs voisins, de la position du puits et des routes disponibles vers le nœud puits.
- ✓ **la phase de routage** : Si deux routes sont disponibles, la route avec le moins de sauts est sélectionnée, Si deux routes ont le même nombre de sauts, la route qui consomme le moins d'énergie pour arriver au puits est sélectionnée. est sélectionnée.
- ✓ **La phase d'ordonnement** : Après la sélection de l'itinéraire, le nœud sink crée un programme d'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) pour la communication entre le nœud sink et les nœuds racines. Le nœud sink

alloue des intervalles de temps aux nœuds. Les nœuds peuvent communiquer avec le nœud sink dans le créneau horaire qui leur a été attribué pour la transmission normale des données.

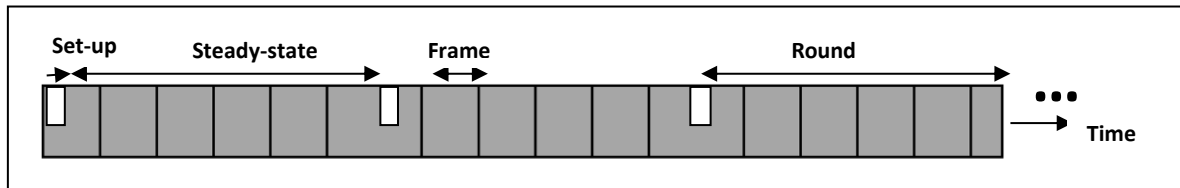


Figure 13 TDMA (Time Division Multiple Access) [3]

- ✓ **La phase de transmission des données :** Une fois que les créneaux horaires sont alloués aux nœuds racine, les nœuds racine envoient leurs données au nœud sink dans le temps imparti fente. Après le sink recevra des données et prendra un certain temps pour agréger les données reçues.

3.4 Adaptation proposée

Notre adaptation concerne le protocole SIMPLE en particulier la phase de la sélection du prochain saut, où le saut suivant est sélectionné en calculant *la fonction de coût* de chaque nœud à base de la distance et l'énergie résiduelle (**fonction du coût = $d(i)/R.E(i)$**), Après plusieurs itération et avoir lu des articles sur ce sujet [43] qui contient plusieurs fonctions des cout on a déduire la fonction de cout suivantes en divisant 1 sur la racine carrée de la somme de la multiplication de la distance entre le nœud i et le puits (sink) et de l'énergie résiduelle et en sélectionnant le nœud avec la valeur minimale pour être le transitaire (forwarder).

La fonction du coût adaptée : $1/\sqrt{\text{distance}(i) * (R.E(i))}$.

3.5. Modèle de système de base

Notre adaptation de protocole SIMPLE propose une amélioration de la fonction du coût. la nouvelle fonction a été ajoutée pour optimiser la durée de vie et la stabilité du réseau, et pour améliorer la consommation d'énergie.

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

- 8 nœuds sont répartis sur le corps humain.
- Le nœud de puits (sink) est placé sur la taille et les nœuds d'ECG et de glucose sont placés près de puits .
- Ces deux nœuds collectent des données critiques et les envoient donc directement au puits.
- Tous les nœuds capteurs ont la même énergie initiale.
- Chaque nœud de capteur se voit attribuer un identifiant unique.
- Les autres nœuds collectent leurs données et les envoient au transitaire après leur sélection en fonction de la fonction de coût et le transitaire les envoie au puits.
- Le transitaire est sélectionné au début de chaque tour.

Cette section présente la configuration de l'amélioration proposée de protocole SIMPLE, qui constitue en une phase : sélection du saut suivant.

Sélection du saut suivant MODIFIED SIMPLE

- Election un nouveau transitaire avec une valeur MIN de **La fonction du coût adaptée = $1/\sqrt{\text{distance}(i)} * (R.E(i))$** .

Figure 14 La phase d'amélioration proposée

La phase de sélection du saut suivant : dans cette phase, le protocole élit un nouveau transitaire au début de chaque tour en fonction de la fonction de coût, le nœud avec la valeur de coût la plus basse devient le transitaire, et le reste des nœuds envoient leurs données au transitaire, qui agrège les données et puis l'envoie au puits. La figure ci-dessous illustre l'organigramme de fonctionnement d'adaptation proposée.

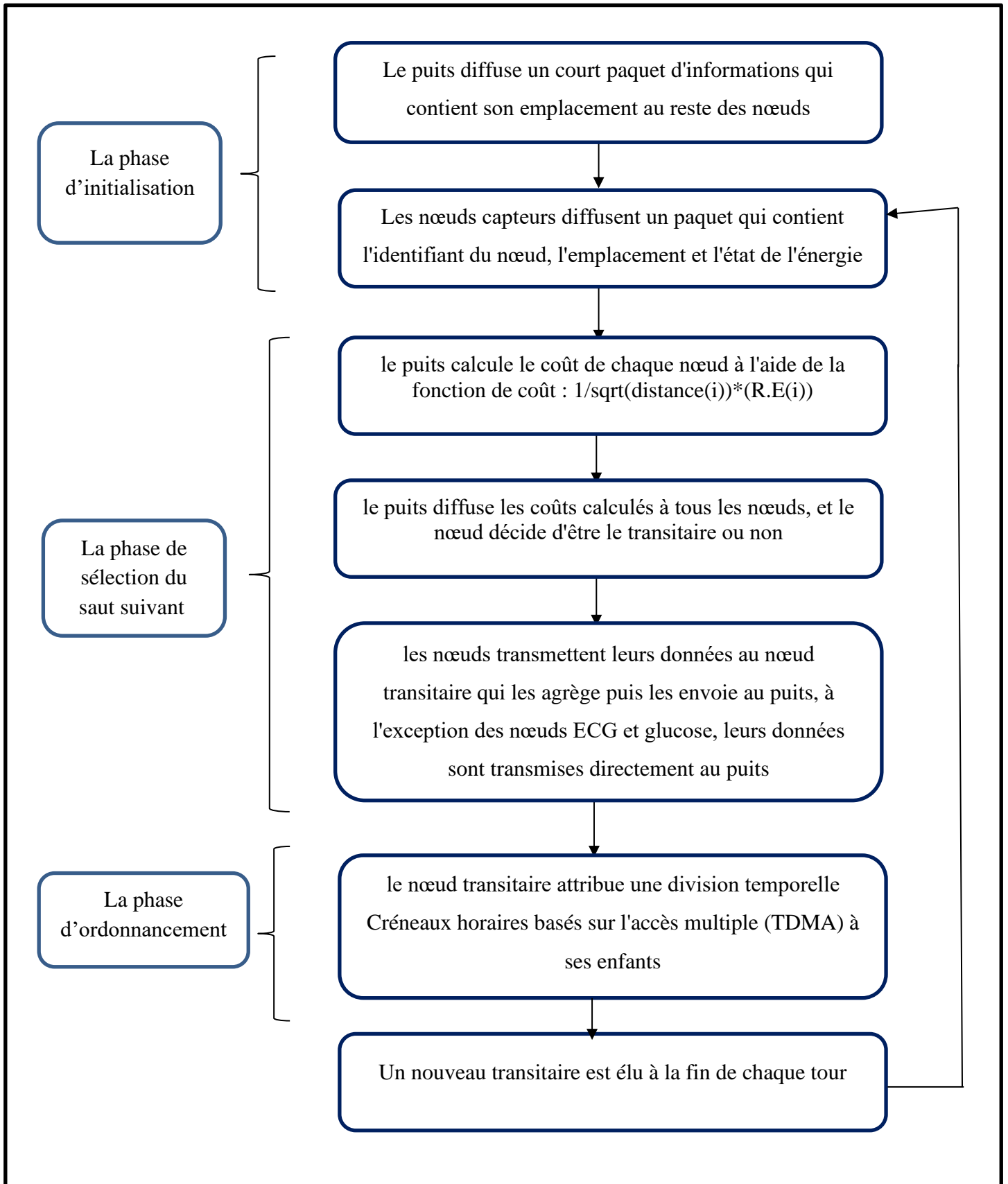


Figure 15 Organigramme d'adaptation proposée

3.5.1. La phase d'initialisation

- Dans ce schéma, huit nœuds de capteurs sont déployés sur le corps humain. Tous les nœuds de capteurs ont une puissance et des capacités de calcul égales. Le nœud coulant est placé à la taille. Le nœud 1 est le capteur ECG et le nœud 2 est le nœud du capteur de glucose. Ces deux nœuds transmettent les données directement au puits. la figure suivante montre le placement des nœuds et du puits sur le corps humain :

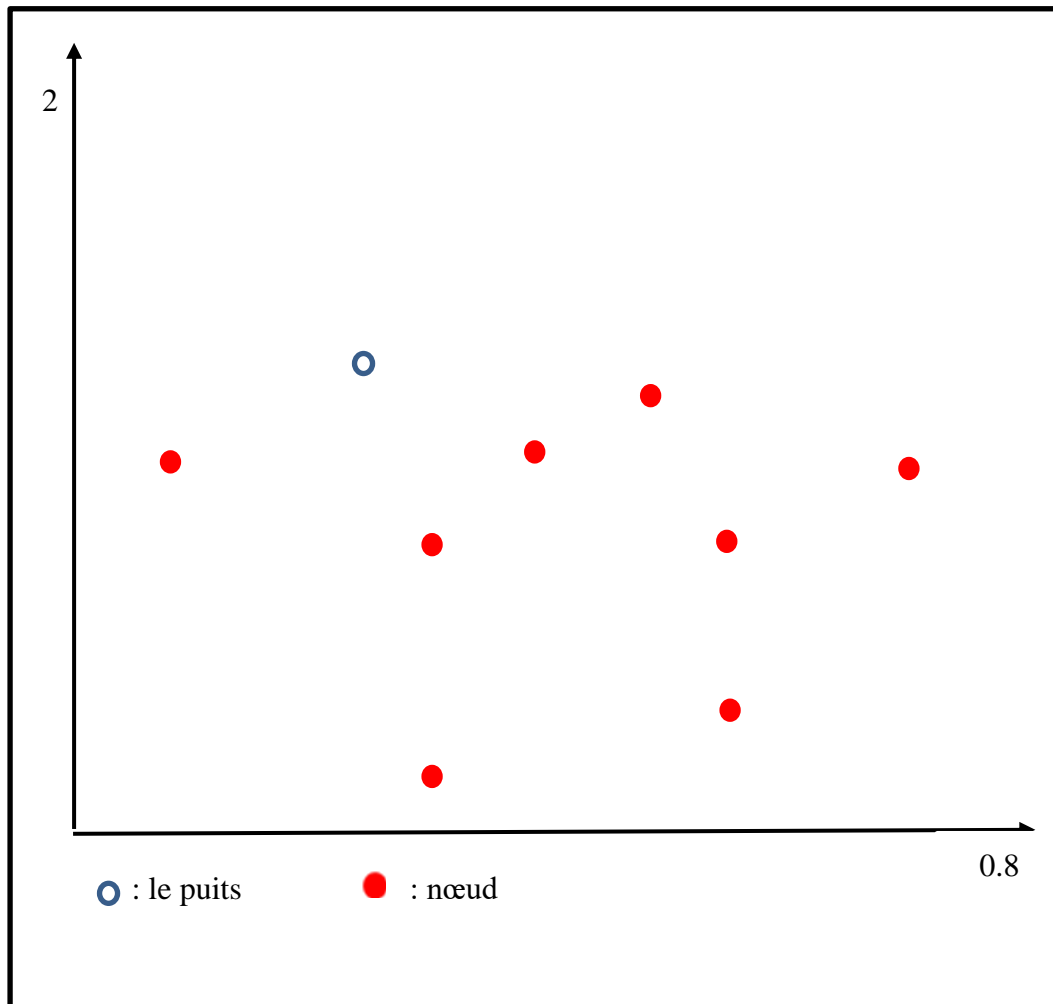


Figure 16 Organisation des nœuds dans l'adaptation proposée

- Au cours de cette phase, le puits envoie un court paquet indiquant son emplacement sur le corps. Lors de la réception de ce message, chaque nœud capteur note l'emplacement du puits. Les nœuds capteurs transmettent ensuite leurs propres

messages, qui incluent leur ID, leur emplacement sur le corps et leur niveau d'énergie. Cela permet à tous les nœuds capteurs de rester informés des emplacements des autres nœuds et du puits.

3.5.2 La phase de sélection du saut suivant

Le protocole SIMPLE modifié vise à équilibrer la consommation d'énergie entre les nœuds de capteurs et à minimiser la consommation d'énergie du réseau en sélectionnant un nouveau transitaire dans chaque tour. Le nœud puits connaît l'ID du nœud, la distance et l'énergie résiduelle, et utilise ces informations pour calculer une fonction de coût pour tous les nœuds, qui est ensuite distribuée aux nœuds. Sur la base de cette fonction de coût, chaque nœud décide un nœud de transitaire ou non. Si i est le nombre de nœuds, la fonction de coût des i nœuds est calculée comme suit :

$$\text{fonction de coût} : 1/\sqrt{\text{distance}(i)} * (R.E(i)).$$

Où d_i est la distance entre le nœud i et le puits, $R.E_i$ est l'énergie résiduelle du nœud i et est calculée en soustrayant l'énergie actuelle du nœud à partir de l'énergie totale initiale. Un nœud avec la fonction de coût minimum est préféré comme transitaire. Tous les nœuds voisins transmettent leurs données au transitaire. le nœud transitaire agrège les données et les envoyer au nœud puits. Le nœud transitaire a un maximum énergie résiduelle et distance minimale jusqu'au puits ; donc, il consomme un minimum d'énergie pour transmettre les données au puits.

3.5.3 La phase d'ordonnement

Au cours de cette étape, le nœud de transfert divise les intervalles de temps pour ses nœuds enfants à l'aide de TDMA, qui est une technique d'accès multiple. Les nœuds enfants envoient ensuite leurs données collectées au nœud de transit pendant leur créneau horaire désigné. Si un nœud n'a pas de données à envoyer, il passe en mode veille jusqu'à sa prochaine heure de transmission programmée. Cette planification permet de conserver l'énergie et de réduire la quantité d'énergie utilisée par chaque nœud de capteur.

3.6 Table de comparaison

	Protocole SIMPLE	Protocole ATTEMPT	Notre adaptation
Nature des capteurs	Capteurs de faible puissance et de petite taille	Capteurs de faible puissance et de petite taille	Capteurs de faible puissance et de petite taille
Emplacement du sink	à la taille	au centre du corps humain	à la taille
Phases de routage	Initialisation, sélection du saut suivant, ordonnancement, transfert de données.	Formation de cluster, initialisation du routage, transfert de données, sélection de la tête de cluster.	Initialisation, sélection du saut suivant, ordonnancement, transfert de données.
Fonction du coût	Oui	Non	Oui
Communication multi-sauts	Oui	Oui	Oui
Communication à saut unique	Oui	Oui	Oui
Clustering	Oui (via la fonction de coût)	Oui	Oui (via la fonction de coût)
Efficacité énergétique	Oui	Oui	Oui
Indicateurs de performance	Durée de vie du réseau, période de stabilité, débit, énergie résiduelle, perte de chemin .	Délai de bout en bout, taux de livraison des paquets, efficacité énergétique, durée de vie du réseau	Durée de vie du réseau, période de stabilité, débit, énergie résiduelle, perte de chemin

Tableau 4 Une comparaison entre les protocoles

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, une adaptation de protocole SIMPLE à base de la fonction de coût a été proposée.

Notre adaptation du protocole SIMPLE concerne spécialement l'étape de sélection du saut suivant ou le choix de nœud transitaire. Au lieu d'utiliser le choix de la fonction de coût originale, on va utiliser une fonction de coût adaptée. Dans le chapitre suivant, on évaluera l'adaptation avec une simulation MATLAB.

Chapitre 4 Simulation et analyse des performances

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter le Scénario de simulation, puis analyser les résultats des simulations le résultat et des expérimentations obtenus lors de l'implémentation de l'adaptation proposé pour la phase de sélection du saut suivant de protocole de routage SIMPLE.

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

Après avoir examiné l'état de l'art présentée au chapitre deux, il est devenu évident que la majorité des études utilisaient Matlab comme environnement de mise en œuvre [39, 21,33,12]. Par conséquent, nous avons pris la décision d'utiliser Matlab pour notre adaptation du protocole SIMPLE. Ce choix était basé sur le fait que Matlab est un langage de script puissant, idéal pour créer des prototypes rapides dans les domaines de l'électronique, de l'hydraulique et de la mécanique. De plus, Matlab offre aux informaticiens la possibilité de traiter facilement des images de signaux en temps réel ou retardées.

Les simulations ont été réalisées sur un PC avec processeur Intel(R) Core(TM) i5-3230M CPU @ 2.60GHz , RAM de 8 Go et système d'exploitation Windows 10 Professionnel N 64 bits, et l'environnement d'implémentation MATLAB R2009a.

4.3 Simulation

Déploiement des nœuds capteurs

A titre d'exemple, 8 nœuds capteurs sont déployés sur le corps humain. Le puits est positionnée aux coordonnées (0.25, 1), les capteurs de glucose et d'ECG sont placés du puits.

Paramètre	Valeur
La localisation de la station de la base.	(0.25,1)
Le nombre des nœuds	8 N
L'énergie initiale des nœuds	0.49 J
Eelec	5.0 nJ/bit
Etx-elec	16.7 nJ/bit
Erx-elec	36.1 nJ/bit
Eamp	1.97e-9

Tableau 5 Les paramètres de simulation

- Chaque nœud présent dans le réseau utilisera de l'énergie lors de l'envoi et de la réception de paquets de données et lors de tâches de traitement de données telles que la collecte et l'agrégation de données. De plus, on ignore l'énergie consommée lors des calculs de base et des mises à jour.
- Au début de la simulation, chaque nœud du réseau a un niveau d'énergie initial de 0,49 J. Une fois qu'un nœud a épuisé sa réserve d'énergie, il devient incapable de transmettre ou de recevoir des données. Cela signifie essentiellement qu'il est considéré comme mort.
- On suppose que la probabilité de collision de signaux et d'interférences dans le canal est inconnue et que l'émetteur radio, les principaux consommateurs d'énergie dans un nœud de capteur sont l'émetteur radio, l'amplificateur radio et l'unité de fusion de données.

4.4 Résultats de simulation :

Dans cette simulation notre modèle d'expérimentation a établi 8 nœuds répartis sur une surface carrée de $0.8 \times 2 \text{ m}^2$ et une station de base (cercle bleu) est présentée par la figure suivante :

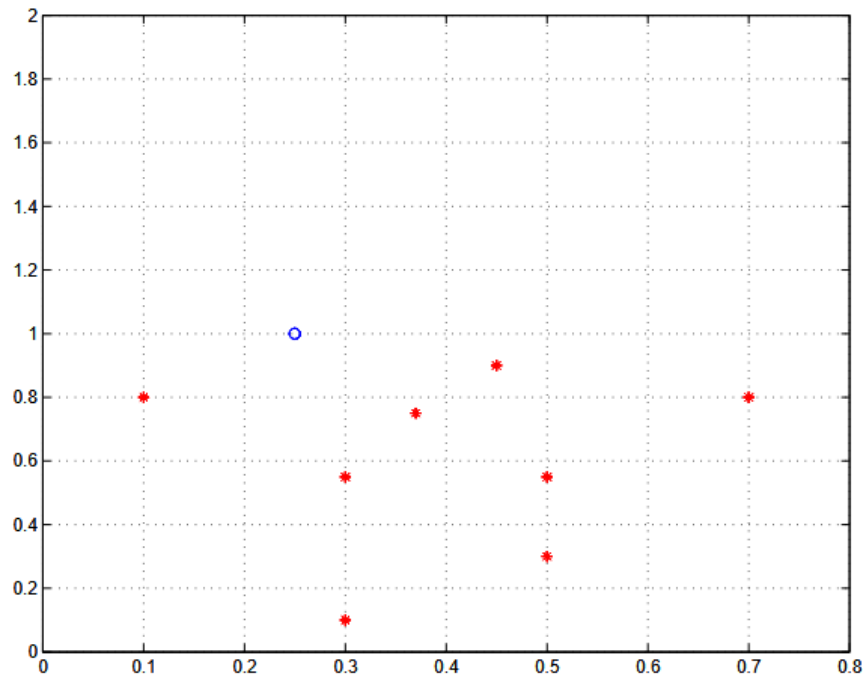


Figure 17 le déploiement des nœuds

Après la simulation du protocole SIMPLE et l'adaptation proposé nous comparons les performances des trois protocoles SIMPLE, ATTEMPT, MODIFIED SIMPLE par certaines métriques :

4.4.1 L'énergie résiduelle

Pour étudier la consommation d'énergie des nœuds à chaque tour, nous examinons l'énergie résiduelle et l'utilisons pour évaluer la consommation d'énergie globale du réseau. La figure ci-dessous représente l'énergie résiduelle par rapport au nombre de tours pour les trois protocoles SIMPLE, ATTEMPT, et MODIFIED SIMPLE. Tous les trois protocoles ont montré une diminution progressive de l'énergie et la différence entre les deux protocoles SIMPLE et MODIFIED SIMPLE est acceptable.

Cependant, MODIFIED SIMPLE a montré une bonne amélioration par rapport à l'apport de SIMPLE et une légère amélioration par rapport à ATTEMPT en termes de longévité aux mêmes mesures.

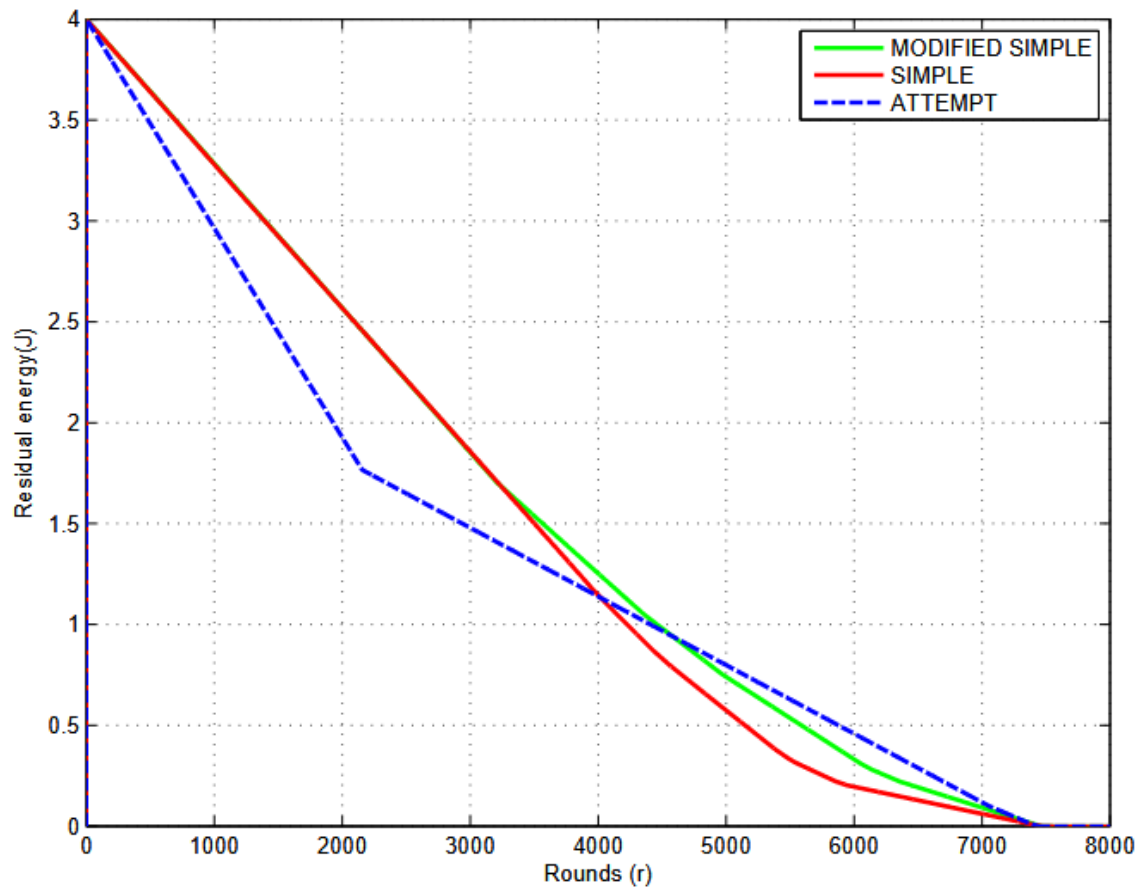


Figure 18 L'énergie résiduelle versus les rounds des Protocoles SIMPLE ,MODIFIED SIMPLE et ATTEMPT

4.4.2 Comparaison de la durée de vie

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

- dans le protocole ATTEMPT on remarque que le premier nœud meurt juste après le 2000ème tour donc la période de stabilité est vraiment courte
- les premiers nœuds morts de SIMPLE et MODIFIED SIMPLE meurent vers le 4000e tour, ils ont donc une meilleure période de stabilité, SIMPLE a plus de nœuds vivants entre le 5000-5500e tour par rapport au MODIFIED SIMPLE, tandis que MODIFIED SIMPLE a plus de nœuds vivants après, les deux les protocoles ont presque des résultats similaires.

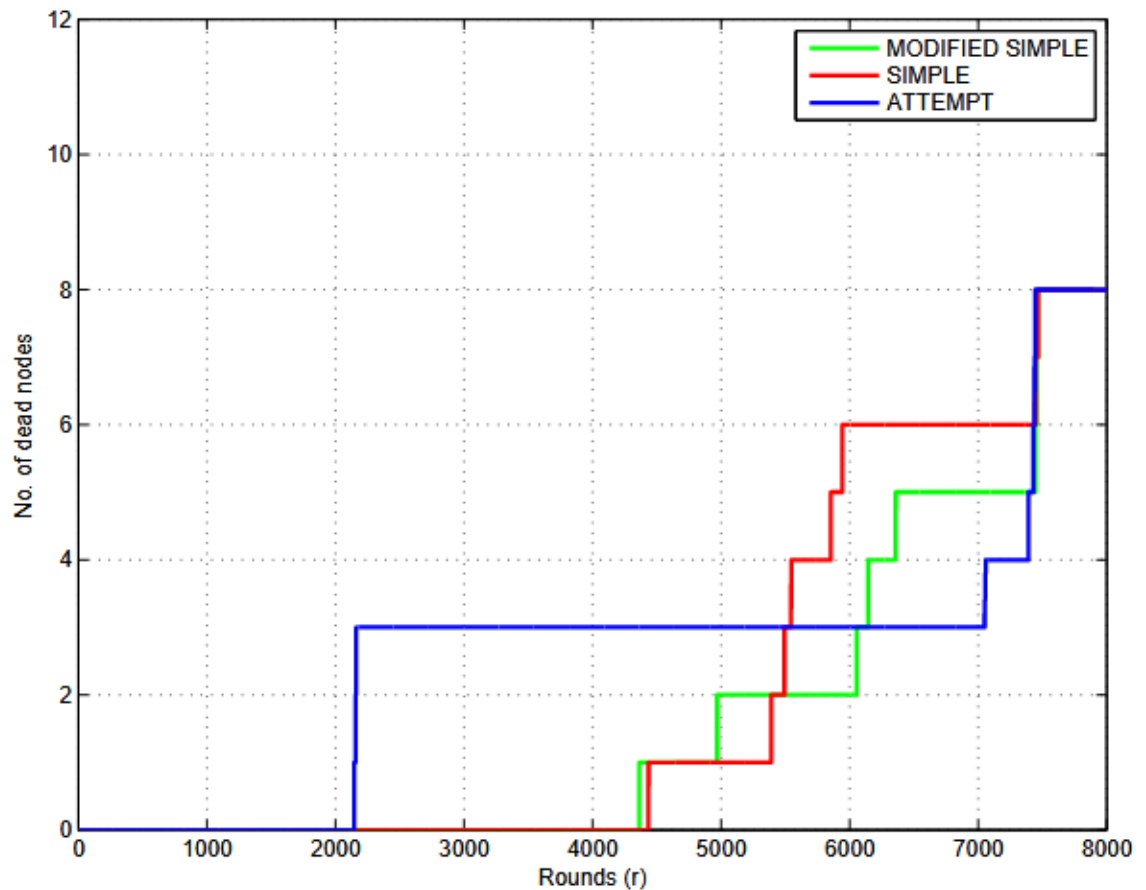


Figure 19 Nombre des nœuds mort.

4.4.3 Comparaison des données reçues

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

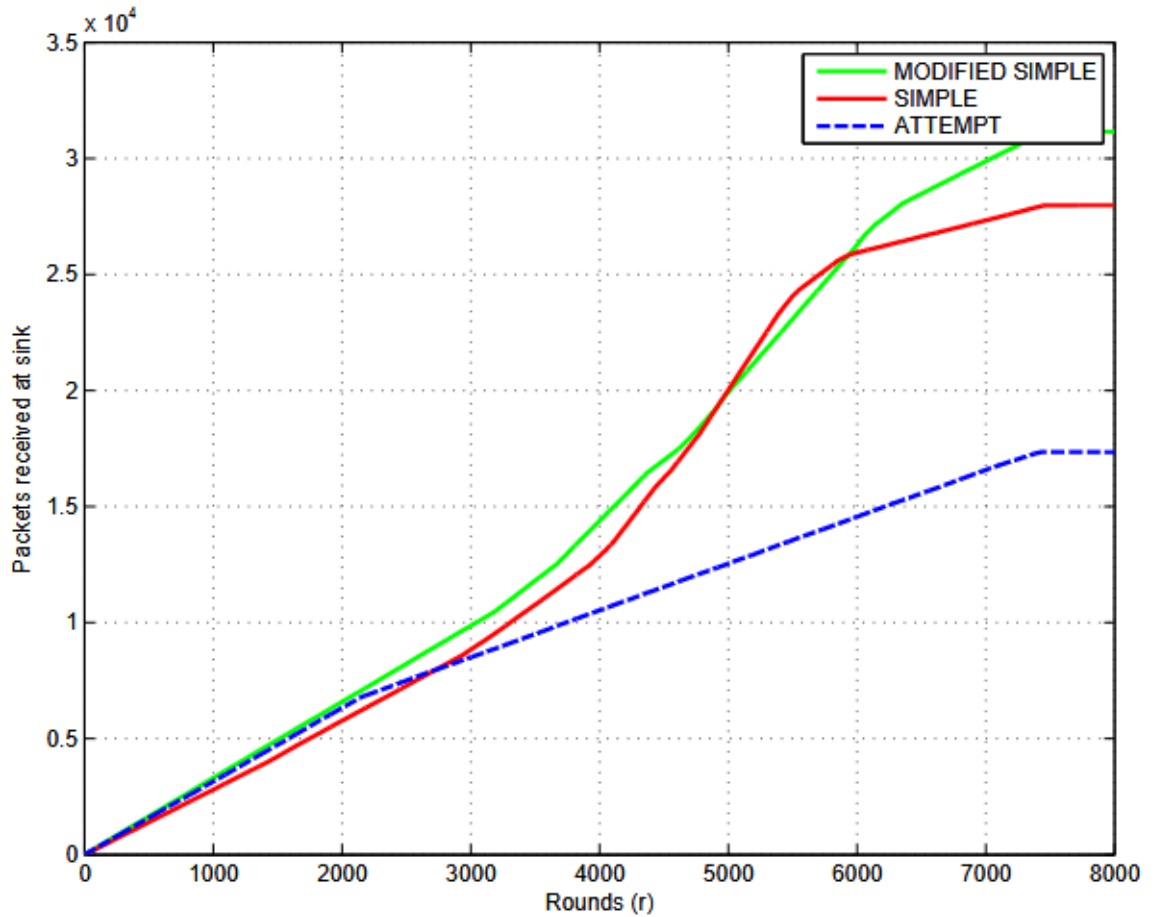


Figure 20 : Les Données Reçus des Protocole SIMPLE,MODIFIED SIMPLE, et ATTEMPT

4.4.4 Comparaison de perte de chemin

La perte de chemin représente l'atténuation du signal et est mesurée en décibels (dB). La figure ci-dessous représente une comparaison entre les trois protocoles En termes de perte de chemin, le protocole ATTEMPT a une perte de chemin plus élevée que les deux autres protocoles, D'autre part, le protocole SIMPLE a une perte de chemin inférieure à celle du protocole SIMPLE MODIFIÉ après le 3000e tour.

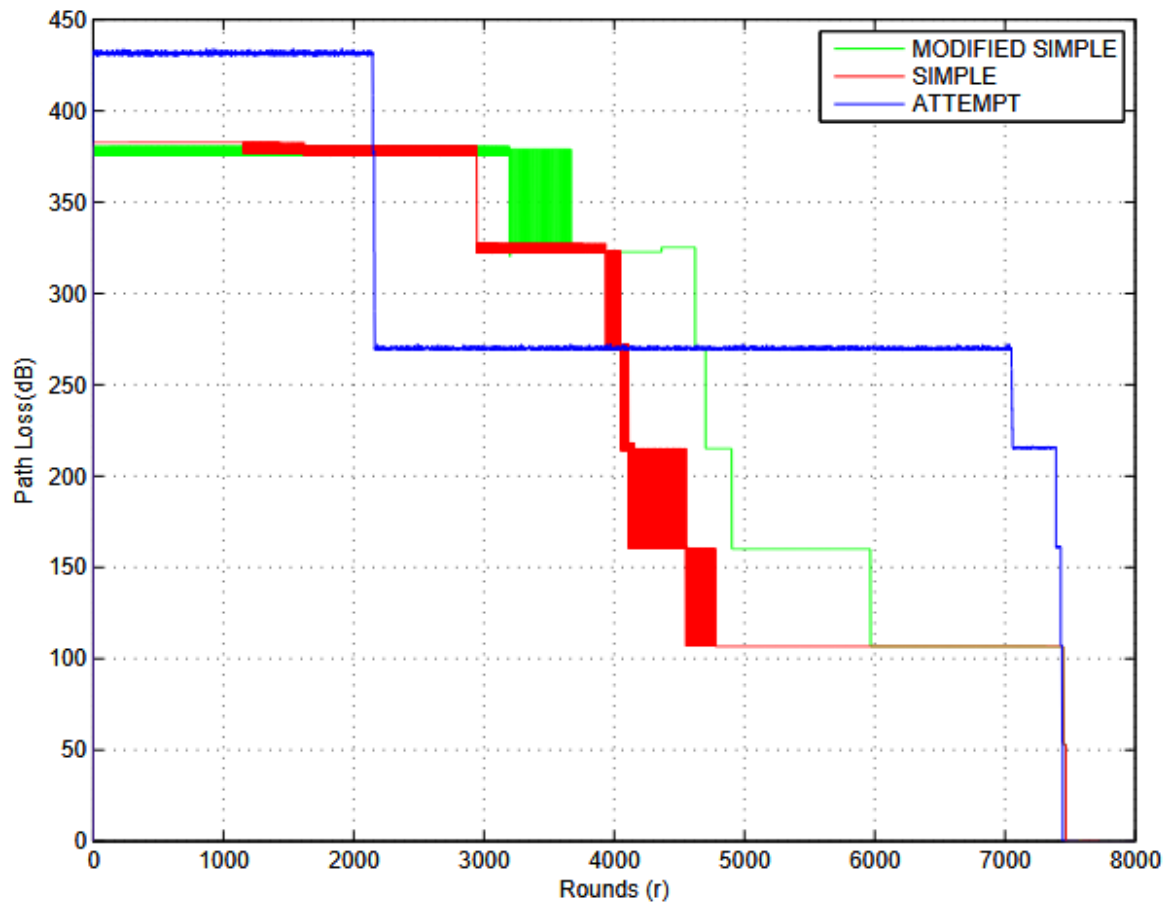


Figure 21 perte de chemin versus les rounds des protocoles SIMPLE, MODIFIED SIMPLE, and ATTEMPT

4.4.5. Discussion

Après avoir comparé les performances des trois protocoles SIMPLE, ATTEMPT et MODIFIED SIMPLE, nous avons noté que l'adaptation MODIFIED SIMPLE fait une bonne amélioration par rapport le protocole ATTEMPT et une amélioration légère par rapport le protocole d'origine SIMPLE au niveau de l'énergie résiduelle, période de stabilité les nœuds morts pour chaque tour, la quantité de données reçues.

On peut donc dire que MODIFIED SIMPLE présente quelque avantages par rapport SIMPLE et ATTEMPT tel que :

- La réduction de la consommation d'énergie.
- plus de paquets sont reçus avec succès au puits.

4.5 Conclusions

Les résultats de simulation prouvent que l'adaptation du protocole SIMPLE avec la fonction de cout adaptée est capable d'améliorer l'efficacité énergétique, ce qui augmente le taux de survie des nœuds et ses performances dépassent celles de ATTEMPT et SIMPLE en termes de quantité de données transmises au puits et la durée de vie de réseaux.

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil (WSN) ont connu une évolution remarquable au fil du temps, ce qui a permis d'améliorer considérablement leurs performances et leurs capacités. Au départ, les WSN étaient constitués de nœuds de capteurs relativement plus grands et moins efficaces, d'une portée de communication limitée et de protocoles de mise en réseau de base. Cependant, les progrès de la technologie et de la recherche ont révolutionné les WSN, avec pour résultat des nœuds de capteurs plus petits, plus puissants et plus économes en énergie.

Dans le cadre de notre étude, on s'est intéressé aux facteurs spécifiques liés à l'efficacité des capteurs sans fil, avec un accent particulier sur la consommation d'énergie dans les réseaux corporels sans fil (WBAN). Ce domaine est considéré comme crucial et de nombreux chercheurs ont attribué leurs efforts à l'optimisation de la consommation d'énergie pour prolonger la durée de vie des WBAN.

Dans cette mémoire nous avons concentré sur le défi de réduire la consommation d'énergie et de prolonger la durée de vie des réseaux corporels sans fil grâce à un routage efficace. Notre objectif principal était de développer une amélioration de protocole SIMPLE au niveau de sélection du saut suivant pour maximiser la durée de vie et réduire la consommation d'énergie des WBAN.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons présenté un état de l'art des travaux annexés autour des protocoles de routage utilisés en WBAN qui sont catégorisés en 5 catégories : température, posture, clustérisé, cross-layered et qualité de service. Néanmoins, la synthèse de l'état de l'art nous a permis de conclure que De nombreux efforts ont été faits pour améliorer la durée de vie des WBAN à travers une variété de mécanismes d'économie d'énergie. L'efficacité énergétique dépend fortement des besoins et de et la nature des applications.

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

Perspective

Ce recherche nous a donné des idées pour d'autres recherches à faire à l'avenir. Voici quelques exemples de ces idées :

- Au niveau de la phase de sélection du saut suivant : adaptation du protocole proposé en utilisant des fonction du cout plus efficaces en termes de la période de stabilité, et la durée de vie du réseau.
- l'étude de l'impact de la mobilité sur le réseau.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] Challal, Y. (n.d.). *Réseaux de Capteurs Sans Fils - Anatomie d'un nœud capteur*.
https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF_35.html.
- [2] RAACHE, B., BERRAH, B., & Djedjai, A (2017). ETUDE COMPARATIVE ENTRE LE ROUTAGE CLUSTERING ET QoS DANS LES WBANS POUR M-HEALTH.
- [3] Guemmedi, S. (2020). Adaptation un protocole de routage pour les réseaux de capteurs (mémoire de master, Tebessa, Université Laarbi Tbessi Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie).
- [4] What is WBAN or IEEE 802.15.6? - everything RF. (n.d.).
<https://www.everythingrf.com/community/what-is-wban-or-ieee-802-15-6/>.
Consulté le 11-03-2023.
- [5] Filipe, L., Fdez-Riverola, F., Costa, N., & Pereira, A. (2015). Wireless body area networks for healthcare applications: Protocol stack review. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(10), 213705.
- [6] Bouldjadj, S. (2020). Sûreté de fonctionnement des réseaux de capteurs médicaux (Doctoral dissertation).
- [7] Yaghoubi, M., Ahmed, K., & Miao, Y. (2022). Wireless Body Area Network (WBAN): A Survey on Architecture, Technologies, Energy Consumption, and Security Challenges. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 11(4), 67.
- [8] Singh, S., & Prasad, D. (2022). Wireless body area network (WBAN) : A review of schemes and protocols. *Materials Today : Proceedings*, 49, 3488-3496.
- [9] Benmansour, T. (2020). Contrôle et surveillance par les Réseaux de Capteurs Corporels sans Fil (WBAN) (Doctoral dissertation, Université de Bordeaux; Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (Alger; 1974-....)).
- [10] MEZGHICHE, R. (2020). Intrusion Détection System for Wireless Body Area Networks WBAN.
- [11] BARKA, K. (2019). Une plateforme Middleware pour l'auto-adaptation des réseaux de capteurs sans fil hétérogènes (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- [12] Nadeem, Q., Javaid, N., Mohammad, S. N., Khan, M. Y., Sarfraz, S., & Gull, M. (2013, October). Simple: Stable increased-throughput multi-hop protocol for link efficiency in wireless body area networks. In 2013 eighth international conference on broadband and wireless computing, communication and applications (pp. 221-226). IEEE.

- [13] Akram, S., Javaid, N., Tauqir, A., Rao, A., & Mohammad, S. N. (2013, October). The-fame: Threshold based energy-efficient fatigue measurement for wireless body area sensor networks using multiple sinks. In 2013 Eighth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (pp. 214-220). IEEE.
- [14] Al-Thobhani, N. S. G., Alnamany, A., Mansour, M., & Alhmati, E. (2022). Wireless Body Area Networks for Healthcare (No. 8874). EasyChair.
- [15] Dash, M., & Mishra, R. (2014). The Development & Implementation of Wireless Body Area Networks. *International Journal of Engineering Research*, 3(3), 138-140.
- [16] Bhanumathi, V., & Sangeetha, C. P. (2017). A guide for the selection of routing protocols in WBAN for healthcare applications. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 7(1), 1-19.
- [17] Caballero, E., Ferreira, V., Lima, R. A., Soto, J. C. H., Muchaluat-Saade, D., & Albuquerque, C. (2021). BNS : a framework for wireless body area network realistic simulations. *Sensors*, 21(16), 5504.
- [18] Goyal, R., Mittal, N., Gupta, L., & Surana, A. (2023). Routing Protocols in Wireless Body Area Networks: Architecture, Challenges, and Classification. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2023.
- [19] Roy, M., Chowdhury, C., & Aslam, N. (2017, January). Designing an energy efficient WBAN routing protocol. In 2017 9th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS) (pp. 298-305). IEEE.
- [20] Tang, Q., Tummala, N., Gupta, S. K., & Schwiebert, L. (2005). TARA : thermal-aware routing algorithm for implanted sensor networks. In *Distributed Computing in Sensor Systems : First IEEE International Conference, DCOSS 2005, Marina del Rey, CA, USA, June 30–July 1, 2005. Proceedings 1* (pp. 206-217). Springer Berlin Heidelberg.
- [21] Javaid, N., Abbas, Z., Fareed, M. S., Khan, Z. A., & Alrajeh, N. (2013). M-ATTEMPT : A new energy-efficient routing protocol for wireless body area sensor networks. *Procedia Computer Science*, 19, 224-231.
- [22] Karmakar, K., Biswas, S., & Neogy, S. (2017, March). MHRP: A novel mobility handling routing protocol in Wireless Body Area Network. In 2017 international conference on wireless communications, signal processing and networking (WiSPNET) (pp. 1939-1945). IEEE.
- [23] Maskooki, A., Soh, C. B., Gunawan, E., & Low, K. S. (2011, January). Opportunistic routing for body area network. In 2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC) (pp. 237-241). IEEE.
- [24] Ruzzelli, A. G., Jurdak, R., O'Hare, G. M., & Van Der Stok, P. (2007, June). 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 (pp. 37-42).

[25] Latre, B., Braem, B., Moerman, I., Blondia, C., Reusens, E., Joseph, W., & Demeester, P. (2007). A low-delay protocol for multishop wireless body area networks. In *Mobile and Ubiquitous Systems: Fourth Annual International Conference on Networking & Services 2007*, Philadelphia, Pennsylvania, USA (pp. 479-486).

[26] Culpepper, B. J., Dung, L., & Moh, M. (2004). Design and analysis of Hybrid Indirect Transmissions (HIT) for data gathering in wireless micro sensor networks. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 8(1), 61-83.

[27] Watteyne, T., Augé-Blum, I., Dohler, M., & Barthel, D. (2007, June). Anybody: a self-organization protocol for body area networks. In *2nd International ICST Conference on Body Area Networks*.

[28] Razzaque, M. A., Hong, C. S., & Lee, S. (2011). Data-centric multiobjective QoS-aware routing protocol for body sensor networks. *Sensors*, 11(1), 917-937.

[29] Mohamed, H. A. D. D. A. C. H. E. (2014). *Les réseaux sans fils*.

[30] GK, R., & Baskaran, K. (2012). A survey on futuristic health care system : WBANs. *Procedia Engineering*, 30, 889-896.

[31] Castelluccia, C., & Francillon, A. (2008). Protéger les réseaux de capteurs sans fil. *SSTIC08*.

[32] BESSADDOUG, A., & BOUDJEMAI, I. CLUSTERING ET ROUTAGE DANS LES RÉSEAUX DE CAPTEURS CORPORELS SANS FILS (Doctoral dissertation).

[33] Samanta, A., & Misra, S. (2017). Energy-efficient and distributed network management cost minimization in opportunistic wireless body area networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 17(2), 376-389.

[34] Braem, B., Latre, B., Moerman, I., Blondia, C., & Demeester, P. (2006, July). The wireless autonomous spanning tree protocol for multihop wireless body area networks. In *2006 Third Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services* (pp. 1-8). IEEE.

[35] Djenouri, D., & Balasingham, I. (2009, September). New QoS and geographical routing in wireless biomedical sensor networks. In *2009 Sixth International Conference on Broadband Communications, Networks, and Systems* (pp. 1-8). IEEE

[36] Bag, A., & Bassiouni, M. A. (2006, October). Energy efficient thermal aware routing algorithms for embedded biomedical sensor networks. In *2006 IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems* (pp. 604-609). IEEE.

- [37] Ayatollahitafti, V., Ngadi, M. A., Mohamad Sharif, J. B., & Abdullahi, M. (2016). An efficient next hop selection algorithm for multi-hop body area networks. *PloS one*, 11(1), e0146464.
- [38] Matlab. <http://fr.mathworks.com/products/matlab/>. Consulté le : 15-05-2020.
- [39] Elhadj, H. B., Chaari, L., & Kamoun, L. (2012). A survey of routing protocols in wireless body area networks for healthcare applications. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 3(2), 1-18.
- [40] Qu, Y., Zheng, G., Ma, H., Wang, X., Ji, B., & Wu, H. (2019). A survey of routing protocols in WBAN for healthcare applications. *Sensors*, 19(7), 1638.
- [41] Bhanumathi, V., & Sangeetha, C. P. (2017). A guide for the selection of routing protocols in WBAN for healthcare applications. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 7(1), 1-19.
- [42] Sharma, N., Singh, K., & Singh, B. M. (2018). An enhanced-simple protocol for wireless body area networks. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(1), 196-210.
- [43] Adhikary, S., Choudhury, S., & Chattopadhyay, S. (2016, January). A new routing protocol for WBAN to enhance energy consumption and network lifetime. In *Proceedings of the 17th international conference on distributed computing and networking* (pp. 1-6).
- [44] Kurian, A., & Divya, R. (2017, March). A survey on energy efficient routing protocols in wireless body area networks (WBAN). In *2017 international conference on innovations in information, embedded and communication systems (ICIIECS)* (pp. 1-6). IEEE.
- [45] Khanna, A., Chaudhary, V., & Gupta, S. H. (2018). Design and analysis of energy efficient wireless body area network (WBAN) for health monitoring. *Transactions on computational science XXXIII*, 25-39.
- [46] Ahmad, A., Javaid, N., Qasim, U., Ishfaq, M., Khan, Z. A., & Alghamdi, T. A. (2014). RE-ATTEMPT: a new energy-efficient routing protocol for wireless body area sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(4), 464010.
- [47] Arasu, K., & Ganesan, R. (2018). Effective implementation of energy aware routing for wireless sensor network. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 1186-1193.
- [48] Javaid, N., Abbas, Z., Fareed, M. S., Khan, Z. A., & Alrajeh, N. (2013). M-ATTEMPT: A new energy-efficient routing protocol for wireless body area sensor networks. *Procedia Computer Science*, 19, 224-231.
- [49] GK, R., & Baskaran, K. (2012). A survey on futuristic health care system: WBANs. *Procedia Engineering*, 30, 889-896.

- [50] Hagar Mahmoud, D. E. F., & Akkari, N. Journal Homepage:-[www. journalijar. com](http://www.journalijar.com).
- [51] Caballero, E., Ferreira, V., Lima, R. A., Soto, J. C. H., Muchaluat-Saade, D., & Albuquerque, C. (2021). BNS: a framework for wireless body area network realistic simulations. *Sensors*, 21(16), 5504.
- [52] Iftikhar, A., Masood, F., & Ullah, A. W. (2023). Analyzing and reviewing cumulative cost functions of simple protocol in wireless body area network. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 41(4), 177-186.
- [53] VALAMBI, H.(2020). Contribution A L'évaluation D'une Application Iot Impliquant Des Capteurs Wban Sous Framework Omnet++ (mémoire de master, Ain-Temouchent, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent Institut de Technologie).
- [54] GUTEMA, S.(2017). Analysis Of Energy Efficient wireless Body Area Network Proactive And Reactive Routing Protocol (mémoire de master, Ethiopia, College of Engineering and Technology School of Computing and Informatics).