



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



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

Mémoire de fin d'étude Pour l'obtention du diplôme de MASTER
Domaine : Mathématiques et Informatique
Filière : Informatique
Option : Réseaux Et Sécurité Informatique

Thème

***Approche basée agent pour la
gestion de la consommation
d'énergie dans les réseaux (WBAN)
Wireless Body Area Network***

Présenté Par :
Rayen Abdellaoui

Encadrer par :
Mr S. Merzoug MCB Université Larbi Tébessa Encadreur

Devant le jury :
Mr M. Amroune MCA Université Larbi Tébessa Président

Mr R. Mahmoudi MAA Université Larbi Tébessa Examineur

Date de soutenance :
27 juin 2020

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon dieu tout puissant de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

*Je tiens à remercier sincèrement Monsieur **Merzoug Soltane**, qui en tant qu'encadreur de ce mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de notre travail.*

*Egalement, je remercie tous les membres de jury : **Amroune Mohammed, Mahmoudi Rachid**, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger mon travail.*

Enfin, je adresse mon plus sincères remerciements à tous mon proches et amis, qui m'ont toujours soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire. Merci à tous et à toutes.

Dédicace

Merci (Allah) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir.

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers Parents

A mes Sœurs et Filles de ma sœur

A tous mes chers Amis

A mon Grands Famille

A tous ceux qui m'ont soutenue de près ou de loin

Rayen

Résumé

Dans le domaine médical, le réseau de capteurs corporels sans fil (WBAN) est devenu une technologie importante capable de fournir de meilleures méthodes de surveillance de la santé des patients en temps réel dans les hôpitaux même à domicile. Ces dernières années, WBAN a suscité un grand intérêt et a prouvé l'une des technologies les plus explorées par les établissements de santé en raison de son rôle vital et de son large éventail d'applications en sciences médicales.

Les réseaux WBAN font face un défi difficile en raison de la consommation énergétique dans les capteurs. Les capteurs médicaux dans le corps n'ont qu'une capacité d'énergie limitée et ne peuvent même de récupérer l'énergie consommée. Par conséquent, à cause d'augmenter la durée de vie de réseau et des capteurs, des mesures préventives doivent être prévues afin d'améliorer l'efficacité énergétique. Depuis ce point de vue, plusieurs solutions sont proposées en raison de relever ce défi. Parmi les solutions, l'utilisation des agents intelligents conduit à réduire les tâches des capteurs, augmenter la durée de vie du WBAN tout en conservant l'efficacité globale du système.

De ce contexte, nous allons développer des agents intelligents intégrés dans un réseau WBAN dans le but d'optimiser la consommation d'énergie, en utilisant l'environnement de simulation « Java ».

Mots clés : WBAN, Capteur médicaux, Agents intelligents, Consommation d'énergie, Durée de vie, Java.

Abstract

In the medical domain, the wireless body area network (WBAN) has become an important technology capable of providing better methods of monitoring the health of patients in real time in hospitals, even at home. In recent times, WBAN has aroused great interest and has proven one of the most explored technologies by healthcare facilities due to its vital role and wide range of applications in medical science.

WBAN networks face a difficult challenge due to the energy consumption in the sensors. The medical sensors in the body have only a limited energy capacity and cannot even recover the energy consumed. Therefore, because of the increased lifetime of the network and the sensors, preventive measures must be planned in order to improve energy efficiency. From this point of view, several solutions are proposed due to meeting this challenge. Among the solutions, the use of intelligent agents leads to reducing sensor spots, increasing the service life of the WBAN while maintaining the overall efficiency of the system.

From this context, we will develop intelligent agents integrated into a WBAN in order to optimize energy consumption, using the "Java" simulation environment.

Keywords: WBAN, Medical sensor, Intelligent agents, Energy consumption, Lifetime of WBAN, Java.

ملخص

في المجال الطبي، أصبحت شبكة استشعار الجسم اللاسلكية تقنية مهمة قادرة على توفير طرق أفضل لمراقبة صحة المرضى في الوقت الحقيقي في المستشفيات، حتى في المنزل. في السنوات الأخيرة، أثارت شبكات استشعار الجسم اللاسلكية اهتمامًا كبيرًا وأثبتت أنها واحدة من أكثر التقنيات التي تم استكشافها من قبل مرافق الرعاية الصحية نظرًا لدورها في العلوم الطبية.

تواجه شبكات استشعار الجسم اللاسلكية تحديًا صعبًا بسبب استهلاك الطاقة في أجهزة الاستشعار. أجهزة الاستشعار الطبية في الجسم لديها طاقة محدودة ولا يمكنها حتى استعادة الطاقة المستهلكة. لذلك، من أجل زيادة عمر الشبكة وأجهزة الاستشعار، يجب التخطيط لإجراءات وقائية بهدف تحسين كفاءة الطاقة. من وجهة النظر هذه، تم اقتراح العديد من الحلول لمواجهة هذا التحدي. من بين الحلول، استخدام العوامل الذكية يؤدي إلى تقليل مهام أجهزة الاستشعار، مما يزيد من عمر خدمة شبكة استشعار الجسم اللاسلكية مع الحفاظ على كفاءة النظام.

من هذا السياق، سنقوم بتطوير عوامل ذكية مدمجة في شبكة استشعار الجسم اللاسلكية من أجل تحسين استهلاك الطاقة.

الكلمات المفتاحية: شبكة استشعار الجسم اللاسلكية، أجهزة الاستشعار الطبية، العوامل الذكية، استهلاك الطاقة، عمر الشبكة.

Table de matière

Introduction générale.....	8
Chapitre 01 : Le WBAN et SMA	
1. Introduction :.....	11
2. Les réseaux WBAN.....	12
2.1. Réseau de capteurs sans fil	12
2.2. Réseau de capteurs corporels sans fil	12
2.3. Comparaison entre WBAN & WSN	13
2.4. Les nœuds capteurs	14
2.4.1. Définition d'un capteur médical	14
2.4.2. Architecture d'un capteur.....	14
2.4.2.1. Unité de captage	15
2.4.2.2. Unité de traitement.....	15
2.4.2.3. Unité de transmission	15
2.4.2.4. Unité de contrôle d'énergie	16
2.4.3. Types de capteurs	16
2.5. Architecture de communication sur WBAN	17
2.5.1. Communication « Intra-BAN ».....	18
2.5.2. Communication « Inter-BAN ».....	18
2.5.3. Communication « Hors-BAN »	19
2.6. Topologies des WBAN	19
2.6.1. Topologie point à point.....	19
2.6.2. Topologie en étoile	19
2.6.3. Topologie en maille.....	20
2.6.4. Topologie en arbre.....	20
2.7. Domaines d'applications	20
3. Les systèmes multi-agents :	22
3.1. C'est quoi un agent :.....	22
3.2. Système multi-agents :	23
3.3. Types d'agents dans un SMA :.....	23

3.3.1. Agent réactif :.....	23
3.3.2. Agent cognitif :.....	23
3.4. Usage de SMA :.....	24
4. Conclusion	25

Chapitre 02 : La gestion de consommation énergétique et communication dans WBAN.

1. Introduction :.....	27
2. La consommation d'énergie.....	28
2.1. Les consommateurs d'énergie.....	28
2.2. Solutions pour récupération de l'énergie.....	29
3. La communication sans fil dans WBAN	30
3.1. Défauts au niveau du capteur dans la communication sans fil.....	30
3.1.1. Défauts au niveau du capteur.....	31
3.1.1.1. Défauts de données	31
3.1.1.2. Défauts matériels	32
3.1.1.3. Défauts logiciels	33
3.1.2. Défauts au niveau du canal.....	33
3.2. Les échecs en communication sans fil.....	34
4. Conclusion	37

Chapitre 03 : L'architecture globale du système.

1. Introduction.....	39
2. SMA pour WBAN	40
2.1. Types des agents.....	40
2.1.1. L'agent contrôleur.....	40
2.1.2. L'agent mobile de suivi	41
2.1.3. L'agent décisionnaire	42
2.2. Architecture des agents.....	42
2.2.1. Architecture d'agent contrôleur	43
2.2.2. Architecture d'agent mobile de suivi.....	46
2.2.3. Architecture d'agent décisionnaire	49
2.3. La communication entre agents	52
2.4. Les avantages d'utiliser des agents dans WBAN	53
4. Description globale de scénario	54
5. Conclusion	57

Chapitre 04 : Implémentation et simulation.

1. Introduction.....	59
2. Environnement de simulation	60
2.1. Simulateur Eclipse.....	60
2.1.1. La langage Java.....	60
2.2. Le Framework JADE	60
3. Présentation des interfaces.....	61
4. Conclusion	66
Conclusion générale	68
Référence bibliographique	69

Liste des figures

Figure 1 : Réseau WBAN.....	12
Figure 2 : Architecture d'un capteur sans fil.	15
Figure 3 : Architecture de communication dans WBAN.	18
Figure 4 : Topologies des WBAN.	19
Figure 5 : Système multi-agents.....	23
Figure 6 : Défauts au niveau du capteur	31
Figure 7 : Types des échecs	35
Figure 8 : Architecture à base d'agent mobile.	41
Figure 9 : Architecture à base multi-agents mobiles.	42
Figure 10 : Architecture générale des agents.	43
Figure 11 : Architecture d'agent contrôleur.	44
Figure 12 : Diagramme d'activité d'agent contrôleur.	44
Figure 13 : Architecture d'agent mobile de suivi.	46
Figure 14 : Diagramme d'activité d'agent mobile de suivi.....	47
Figure 15 : Architecture d'agent décisionnaire.....	49
Figure 16 : Diagramme d'activité d'agent décisionnaire.	50
Figure 17 : Communication entre agent mobile de suivi et agent de décision.	52
Figure 18 : Le scénario proposé.	55
Figure 19 : Code de main-container.....	62
Figure 20 : code du conteneur de premier agent.	62
Figure 21 : Code du premier agent.	63
Figure 22 : Interface de gestion des agents.	64
Figure 23 : Les interfaces des agents.	64
Figure 24 : Envoyer un message.....	65
Figure 25 : Interface de "sniffer".....	65

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison entre WSN et WBAN.	13
Tableau 2 : Types de capteurs.....	17
Tableau 3 : Exemples d'application WBAN en différents domaines.....	21
Tableau 4 : Avantages d'utiliser de SMA.....	53

Liste des abréviations

WBAN : Wireless Body Area Network

WSN : Wireless Sensor Network

SMA : Système Multi-Agents

PDA : Personal Digital Assistant

ECG : Électrocardiogramme

EEG : Électroencéphalogramme

EMG : Électromyogramme

IA : Intelligence Artificielle

IAD : Intelligence Artificielle Distribuée

MA : Mobile Agent

JADE : Java Agent DEvelopment Framework

Introduction Générale

Introduction générale

Les dernières décennies du siècle dernier ont annoncé une révolution dans la communication sans fil. La communication sans fil a révolutionné notre vie quotidienne car elle imprègne la plupart des applications technologiques telles que le contrôle, le suivi, la surveillance et l'automatisation. Il ne fallut pas longtemps avant que la révolution du réseau de capteurs sans fil (WSN) ne se tourne vers une technologie adaptée à la mobilité humaine en concevant une technologie pouvant être portable ou même implantée dans le corps humain. Cette technologie se caractérise par de petits nœuds de capteur hétérogènes, à faible contrainte énergétique et minuscules qui forment un type spécial de WSN, à savoir le Wireless Body Area Network (WBAN).

Dans un scénario d'application classique, les capteurs sont déployés afin de mesurer certains phénomènes physiques et de transférer les informations collectées à une station de base, nommée le nœud puits. Ce dernier a plus de ressources que les autres nœuds et peut traiter les informations reçues localement. Les domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil sont nombreux et variés du fait notamment de la variété des capteurs. Parmi les domaines qui ont été révolutionnés par les réseaux de capteurs sans fil, on trouve le domaine médical. Les réseaux de capteurs sans fil utilisés dans le domaine médical sont appelés réseaux de capteurs corporels ou simplement WBAN (Wireless Body Area Networks).

Un WBAN comprend des capteurs qui capturent des informations physiologiques et les envoient à une station de base centrale via une communication sans fil. WBAN remplace les équipements de santé complexes et câblés car il est capable de surveiller en permanence les statistiques vitales du corps. Plus important encore, les données fournies par WBAN donnent aux médecins une meilleure vue de la situation d'un patient car ces données sont recueillies au cours des activités normales d'un patient dans son environnement naturel.

Cependant le développement de réseaux de capteurs sans fil, la consommation d'énergie dans les réseaux WBAN reste un problème et cela cause que la durée de vie des capteurs et de réseaux WBAN ne sont pas fiables. Cela est dû au fait que les capteurs corporels sont de minuscules appareils à ressources limitées fonctionnés par petites batteries, ce qui fait que la consommation de l'énergie est un problème sérieux. En raison de ce problème,

les recherches proposées sont pour obtenir un WBAN fiable doit être économe en énergie. Parmi les solutions proposées, l'utilisation de système multi-agents par l'intégration de ce dernier dans réseau WBAN. Cette solution améliore la consommation énergétique.

Les systèmes multi agents représentent également un paradigme de calcul et de gestion distribué sous forme d'un ensemble d'agents qui interagissent dans un environnement pour résoudre un problème commun en utilisant les ressources et les connaissances de chaque agent. Une caractéristique clé des agents est l'intelligence. Cette intelligence a fait ses preuves dans les aspects de prise de décision, la distribution de l'exécution, les objets communicants et surtout l'évolution des agents vers des composants logiciels de plus en plus autonomes capable d'agir en cas d'urgence sans intervention de l'utilisateur. Les systèmes multi-agents (SMA) ont un principe de fonctionnement qui peut être facilement adapté et intégré dans les systèmes complexes comme les réseaux de capteurs sans fil.

Objectifs

L'objectif de notre travail est de développer un système multi-agents intégré dans un réseau de capteurs corporels sans fil tout en tenant compte de :

- Réduire la consommation énergétique.
- Augmenter la durée de vie du réseau.
- Avoir un système intelligent.

Structure de mémoire

Ce rapport est organisée en quatre chapitres en plus d'une introduction générale et d'une conclusion générale :

- **Chapitre 01** : représente l'état de l'art dans les réseaux WBAN et les systèmes multi-agents (SMA).
- **Chapitre 02** : représente la gestion de consommation énergétique et de communication dans le WBAN.
- **Chapitre 03** : constitue l'architecture globale du système avec un scénario proposé.
- **Chapitre 04** : présente les résultats de simulation de notre réseau WBAN.

CHAPITRE 01 :

Le WBAN

et

SMA

1. Introduction :

Le développement scientifique sur la technologie de la communication sans fil et l'informatique mobile devenu plus populaire et de plus en plus utilisable dans les dernières décennies. Ceci a permis l'apparition d'un nouveau type de réseaux sans fil appelé réseaux de capteurs sans fil (Wireless Sensor Network). Ce réseau est un ensemble de capteurs pour le but d'échanger des informations. Les WSN appliqués au domaine médical sont appelés réseaux de capteurs corporels sans fil ou WBAN (Wireless Body Area Network). En effet, ils sont utilisés de contrôler et surveiller les patients à distance et en temps réel.

Dans ce chapitre, on va présenter brièvement les systèmes multi-agents, les réseaux de capteurs sans fil et notamment les réseaux de capteurs corporels sans fil (WBAN).

2. Les réseaux WBAN

Les réseaux de capteurs corporels sans fil ou WBAN (Wireless Body Area Network en anglais) remplacent les médecins. Ces réseaux utilisent des capteurs qu'ils posent sur le corps humain et utilisant en plusieurs domaines.

2.1. Réseau de capteurs sans fil

Le réseau de capteurs sans fil ou WSN (Wireless Sensor Network en anglais) est constitué de grand nombre de capteurs intelligents. Ces capteurs utilisent les ondes radio pendant qu'ils interconnectent entre eux pour l'échanger des informations. Il est considéré comme un type particulier des réseaux Ad-hoc. Il existe en plusieurs domaines comme le domaine médical, le commerce, l'environnement et le militaire [04].

2.2. Réseau de capteurs corporels sans fil

Le réseau de capteurs corporels sans fil est un réseau constitué de mini capteurs portés ou implémentés dans le corps humain. Ce type de réseau est utilisé pour surveiller les signes vitaux sur le corps de patient pour avoir un diagnostic médical. Chaque capteur peut détecter une ou plusieurs caractéristiques physiologiques via son corps ou son environnement [05].

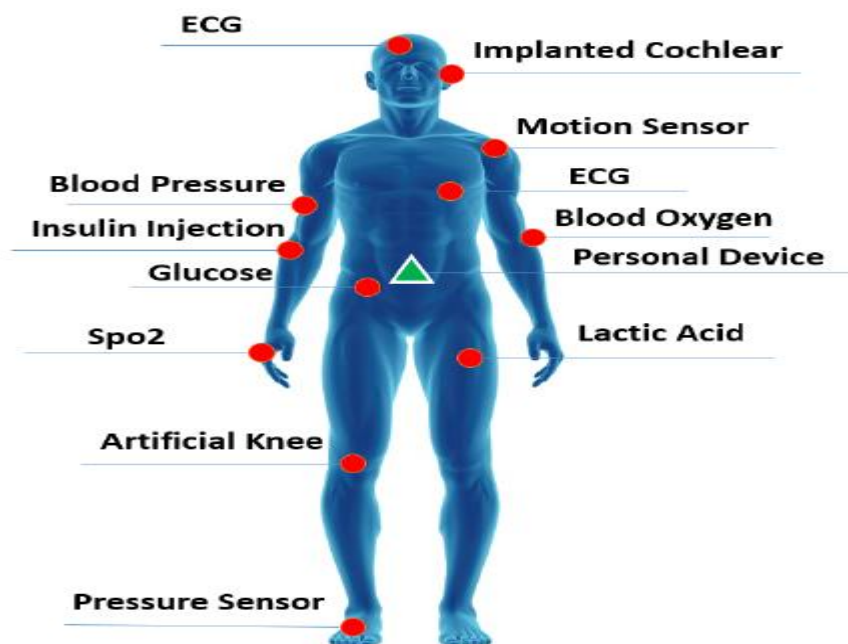


Figure 1 : Réseau WBAN [11].

2.3. Comparaison entre WBAN & WSN

Le réseau de capteurs corporels sans fil (WBAN) est un type du réseau de capteurs sans fil (WSN).

Le tableau suivant présente les différences entre WBAN et WSN selon plusieurs facteurs [06].

Facteur	WSN	WBAN
Déploiement	Dans des endroits qui ne sont pas facilement accessibles	Sur le corps humain
Densité	Dense (grand nombre)	Pas dense (nombre limité)
Débit	Actions à des intervalles irréguliers	Actions périodiques
Latence	Difficilement accessibles, temps de latence élevé	Facilement accessibles, temps de latence réduit
Sécurité	Faible	Haut
Echelle	Dizaines de mètres	Dizaines de centimètres
Mobilité	Nœuds stationnaires	Nœuds mobiles
Taille de capteur	Préférée petit	Devrait être petit

Tableau 1 : Comparaison entre WSN et WBAN [06].

2.4. Les nœuds capteurs

Le capteur sans fil est le composant le plus précieuse et le plus nécessaire sur les réseaux de capteurs corporels sans fil.

2.4.1. Définition d'un capteur médical

Un capteur sans fil est un petit dispositif peut mesurer un signe physique et transformer en une mesure électrique qui sera transmis sur le système [07].

Un capteur médical se constitue d'un capteur équipé d'un circuit électronique spécifique pour mesurer un ou plusieurs paramètres physiologiques.

Donc, capteur + circuit électronique spécifique = capteur médical.

2.4.2. Architecture d'un capteur

Chaque capteur est composé de quatre unités de base [07] qui sont :

- Unité de captage
- Unité de traitement
- Unité de communication et de transmission
- Unité de contrôle d'énergie

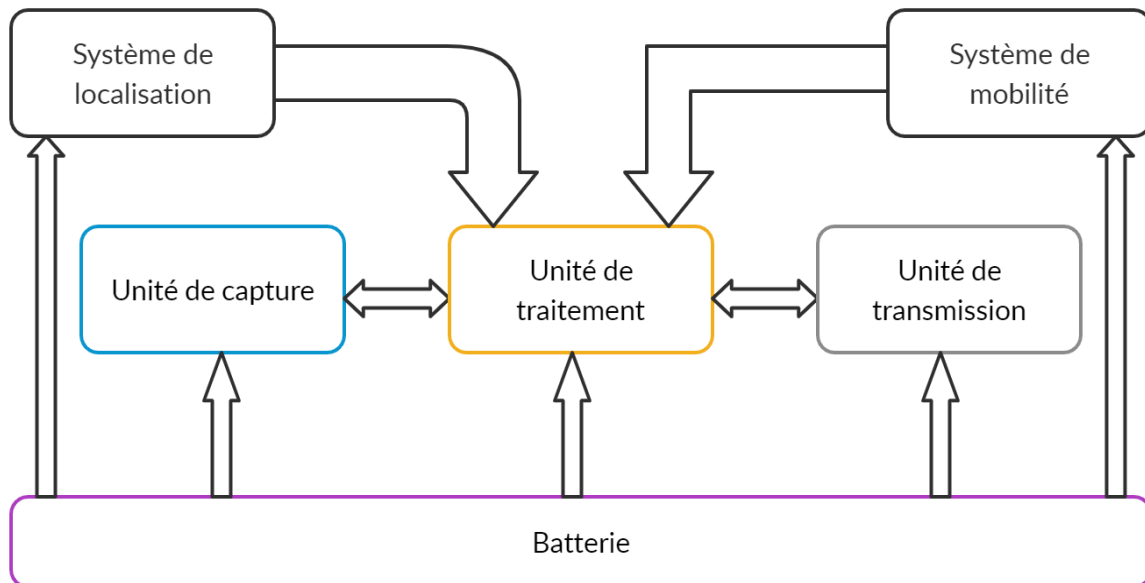


Figure 2 : Architecture d'un capteur sans fil.

La figure précédente représente l'architecture générale et les unités de base d'un capteur.

2.4.2.1. Unité de captage

Cette unité par elle-même contient deux sous-unités, la première unité est le capteur lui-même qui fournit des signaux physiques collectés via le corps. La deuxième unité est le convertisseur analogique-numérique qui transforme les signaux physiques en des signaux électriques exploitables et compréhensibles par l'unité de traitement [07].

2.4.2.2. Unité de traitement

L'unité de traitement comporte un processus associé à l'unité de stockage (Mémoire). Elle reçoit les informations depuis l'unité de captage et les envoie à l'unité de transmission. Cette unité analyse les données captées, elle est aussi responsable de l'exécution des protocoles de communications qui permettent de faire coopérer entre les capteurs [07].

2.4.2.3. Unité de transmission

L'unité de transmission est responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données à travers un support de communication sans fil. Elle peut être de type optique ou de type radiofréquence [07].

2.4.2.4. Unité de contrôle d'énergie

L'unité de contrôle d'énergie est l'unité la plus précieuse car elle fournit l'énergie pour le capteur fonctionne, mais cette ressources énergétiques est limitée et généralement non-remplaçable. Alors elle a une influence sur la durée de vie de capteur et donc du réseau entier. Cette unité est responsable de partager les ressources énergétiques aux autres composants et de réduire l'énergie le moins possible par mettant les composants en état inactifs parce que dans ce cas la consommation d'énergie est presque nulle [07].

- Il y'a des capteurs qui possèdent d'autres composants supplémentaires :
 - **Système de localisation** : Il fonctionne comme le GPS, il fournit des informations sur la localisation requise.
 - **Mobilisateur** : le système de mobilisation permet de remplacer le capteur si est nécessaire.

2.4.3. Types de capteurs

Type de capteur	Fonctionnement
Capteur ECG	Mesurer les signaux électriques produits par le cœur et permet d'évaluer l'activité cardiaque.
Capteur EEG	Mesurer l'activité électrique du cerveau.
Capteur EMG	Mesurer les signaux électriques produits par les muscles.
Accéléromètre et Gyroscope	Surveiller la posture du corps et ses mouvements physiques.
Détecteur de CO2	surveiller la concentration d'oxygène lors de la respiration humaine.

Capteur de glycémie	Mesure la concentration de glucose dans le sang.
Capteur de tension artérielle	Mesure la pression du sang humain, injecter le médicament.
Capteur de température	Mesure la température du corps humain.
Stimulateur	Permet de réduire les douleurs chroniques par agissant sur la moelle épinière.
Pompe à médicament	Injecter le médicament comme la pompe à insuline.
Capteur sensible à l'acide nitrique	Le capteur est placé sur les zones suspectes, le médecin peut initier un traitement dès qu'une cellule suspecte est détectée.

Tableau 2 : Types de capteurs [12].

2.5. Architecture de communication sur WBAN

La figure suivante représente l'architecture générale d'un système WBAN, elle illustre le cycle de vie de ce système et explique comment les capteurs corporels envoient les informations collectés avec une connexion sans fil. Par la suite, ces informations sont transmises à la base de données pour les enregistrer dans le but de les voir plus tard par le médecin ou l'hôpital par exemple pour obtenir un diagnostic, ou bien transmises à un équipement correspondant qui émet une alerte d'urgence [08].

Parfois, on utilise des capteurs autour de patient, sur son environnement (par exemple sur la maison) pour obtenir des mesures physiques.

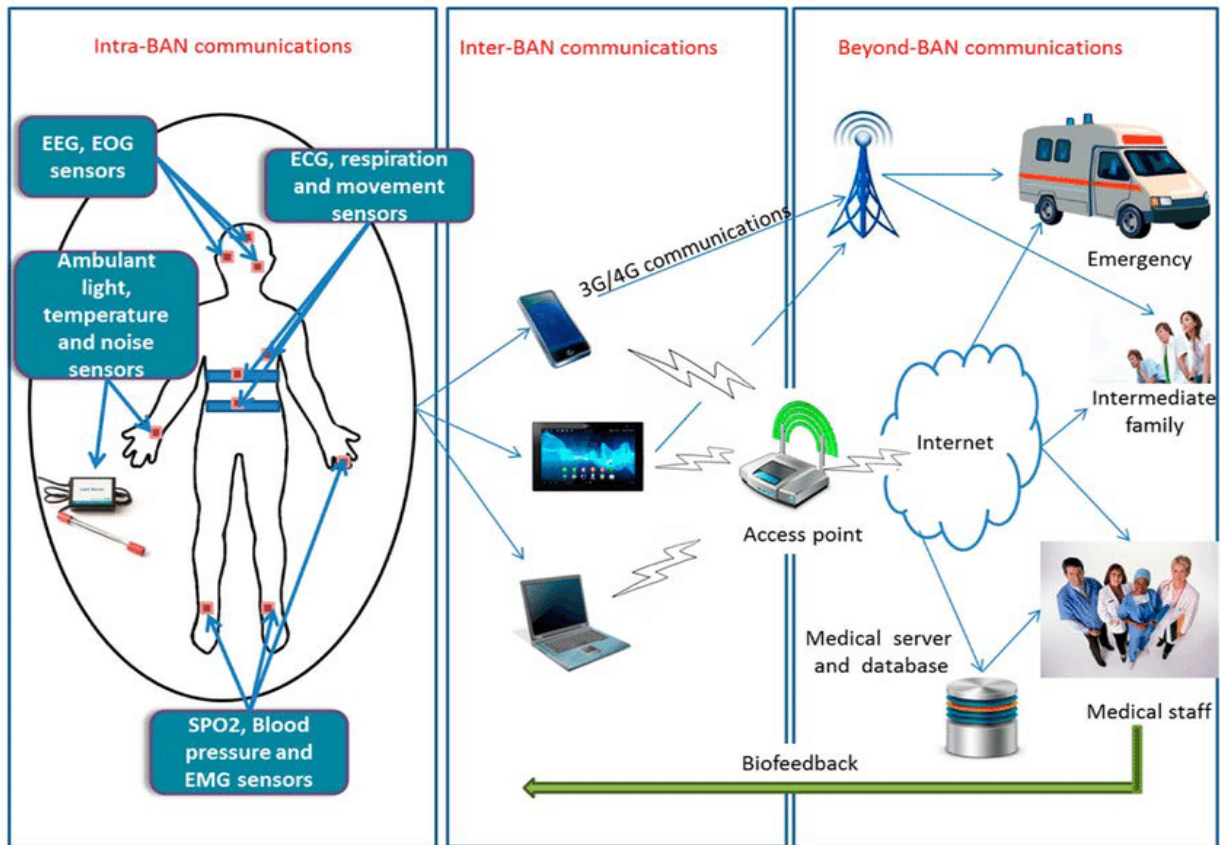


Figure 3 : Architecture de communication dans WBAN [10].

La communication sur le système WBAN est décomposée en 3 parties [08] :

- Communication « Intra-BAN »
- Communication « Inter-BAN »
- Communication « Hors-BAN »

2.5.1. Communication « Intra-BAN »

La communication « Intra-BAN » concerne à l'interconnexion entre les capteurs corporels ou bien la communication entre ces derniers et le capteur de collecte et ça veut dire que ces capteurs échangent les données mesurées [08].

2.5.2. Communication « Inter-BAN »

La communication « Inter-BAN » est entre le capteur de collecte et un ou plusieurs points d'accès au réseau. Les informations collectées sont envoyés à ces points d'accès [08].

2.5.3. Communication « Hors-BAN »

La communication « Hors-BAN » concerne à la communication entre le point d'accès et le médecin ou l'hôpital via le réseau internet pour obtenir un diagnostic ou demander le service d'urgence [08].

2.6. Topologies des WBAN

Les capteurs sans fil interagissent entre eux en utilisant plusieurs topologies. Cette figure au-dessous montre les topologies utilisées.

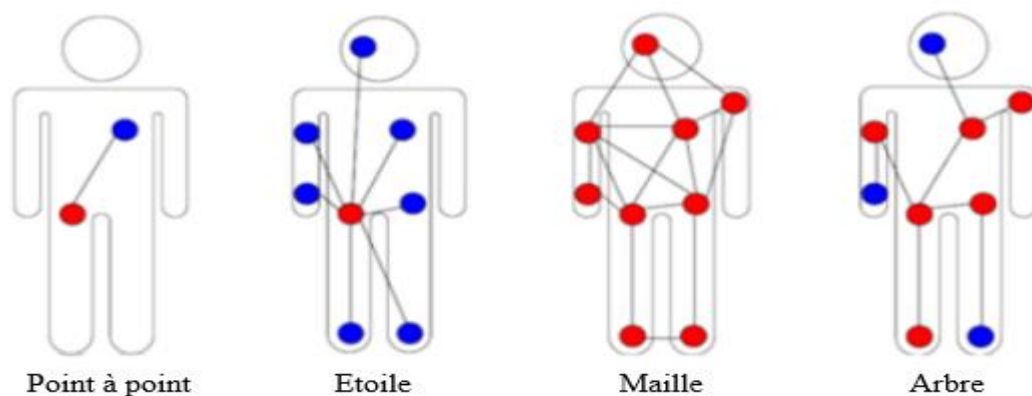


Figure 4 : Topologies des WBAN [06].

2.6.1. Topologie point à point

La topologie la plus simple c'est la topologie point à point, car elle utilise seulement deux capteurs liés par une seule liaison. Sa simplicité permettant d'utiliser un protocole simple avec un débit élevé et une faible latence, contrairement à ses fonctionnalisés qui sont limitées ainsi que sa faible couverture [06].

2.6.2. Topologie en étoile

Cette topologie est comprend plusieurs capteurs dans laquelle il existe un capteur centrale qu'il connecte avec tous les autres capteurs, le capteur centrale joue le rôle d'intermédiaire entre les capteurs parce qu'ils ne peuvent jamais d'échanger des informations directement entre eux.

Cette topologie est la plus utilisé dans les réseaux WBAN à cause de sa simplicité, en plus de la consommation d'énergie est faible parce qu'il n'est pas

beaucoup de communication. Par contre, un seul nœud qui gère tous les communications donc tout le réseau, cela signifie que ce capteur a une vulnérabilité du réduire sa durée de vie [06].

2.6.3. Topologie en maille

Tous les capteurs peuvent échanger des informations avec n'importe quels autres capteurs sur le réseau, c'est une topologie avec une connectivité complète. Dans le cas d'un capteur veut envoyer des informations à un autre capteur hors de se porté, il peut utiliser un capteur intermédiaire.

Cette topologie a une bonne couverture mais sa consommation d'énergies est très élevée à cause de les communications entre les nœuds [06].

2.6.4. Topologie en arbre

C'est comme l'arbre de famille, chaque capteur peut avoir un père et un fils, ce qui signifie que les connexions entre les capteurs sont structurés hiérarchiquement. Cette topologie divise le réseau en sous-parties devient plus facile à gérer, mais les nœuds pères consomment beaucoup d'énergie [06].

2.7. Domaines d'applications

Les systèmes WBAN sont utilisés en plusieurs domaines sur la vie, par exemple la surveillance médicale, le sport, le militaire et les jeux...

Domaines de WBAN	Types d'applications	Exemples
Médical	WBAN portable	Surveillance de la respiration humaine
		Surveillance de la température
		Détection du cancer
		Contrôle le diabète

	WBAN implantable	Contrôle la pression artérielle
		Maladies cardiovasculaires
		Maladies cérébrales
Sport	Mesure la fréquence cardiaque	
	Analyse la température, la respiration	
	Mesure les signaux électriques produits par les muscles (EMG)	
	Analyse les mouvements physiques	
Militaire et Défense	Utilise les capteurs ECG, EEG, EMG, de température, de respiration, et d'accéléromètre pour surveiller l'état des soldats	
Jeux	prend les positions réelles du joueur en temps réel en utilisant les capteurs de mouvements.	

Tableau 3 : Exemples d'application WBAN en différents domaines [13].

3. Les systèmes multi-agents :

L'IAD est une succursale de l'IA classique qui s'appuie à modéliser le comportement intelligent d'un seul agent. Par rapport à l'IAD qui s'intéresse à un système comporte plusieurs agents dans lequel les agents fonctionnent collectivement dans le but de la résolution de problèmes complexes.

L'IAD a introduit le concept de système multi-agents.

3.1. C'est quoi un agent :

Un agent est une entité physique ou virtuelle fonctionne de façon autonomie, lequel peut être vu comme la conséquence de ses connaissances et de ses interactions avec d'autres agents, capable d'agir et d'évoluer dans un environnement, il peut communiquer avec d'autres agents sur le système [01].

Un agent est caractérisée [02] par son :

- Autonomie : Son comportement est une conséquence de ses perceptions qui agissent sur lui, et de sa représentation de l'environnement dans lequel il évolue.
- Adaptation : la capacité de s'adapter sur leur environnement à travers de son autonomie.
- Coopération : la capacité d'interagir avec les autres agents pour réaliser les buts qu'ils poursuivent, donc il coopère avec eux pour avoir le résultat qu'il veut.
- Coordination : capable d'interagir entre les autres agents avec la synchronisation, permettant de résoudre les tâches du problème globale.
- Négociation : le pouvoir de discuter et échanger des informations pour l'obtention d'un accord.
- Mobilité : capable de voyager sur un réseau local ou le web.

3.2. Système multi-agents :

Un système multi-agents est une organisation composée des agents dans lesquels communiquent entre eux dans un environnement commun pour coopérer, coordonner et négocier [02].

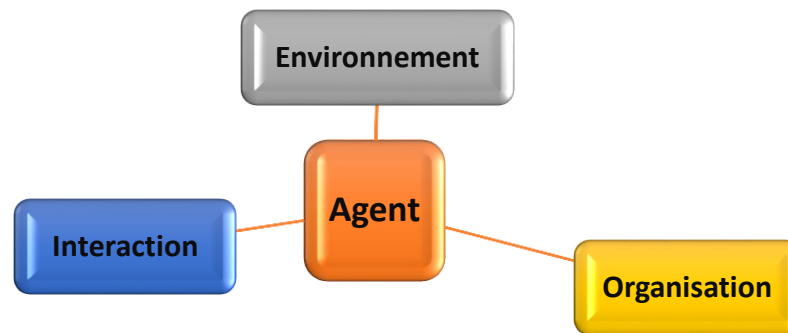


Figure 5 : Système multi-agents.

3.3. Types d'agents dans un SMA :

3.3.1. Agent réactif :

Les agents réactifs ne sont pas intelligents individuellement. Ils ne peuvent qu'opérer à des actions simples provenant de leur environnement et leur comportement. Ces agents ne disposent pas d'une représentation explicite sur le système [02].

Un SMA réactif est un système intelligent comporte un grand nombre des agents qu'ils ont le pouvoir de s'adapter et d'évoluer provenant ses interactions. Il s'intéresse à comprendre le système dans son ensemble.

3.3.2. Agent cognitif :

Les agents cognitifs sont des agents intelligents comprenant une base de connaissance compose des informations et des savoirs dans lesquels forment à travers les interactions avec les autres agents à la réalisation de ses tâches. Ils ont une représentation explicite à leur-même, des autres agents et leur environnement, de plus les interactions permettant d'accomplir leurs buts [02].

Un SMA cognitif est un système contient un nombre réduit des agents intelligents. Il s'intéresse à améliorer les comportements individuels des agents.

3.4. Usage de SMA :

- Domaine médicale : diagnostic les patients.
- Domaine commerciale : le commerce électronique.
- Domaine industriel : les systèmes de production, gestion du trafic routier.
- Simulation de systèmes complexes : robotique, psychologie.
- Réseau : management et surveillance de réseaux... [03]

4. Conclusion

Ce chapitre présente l'état de l'art sur les réseaux de capteur corporels sans fil. Dans le début, nous avons présenté les systèmes multi-agents, on définit le système multi-agents, l'agent, ses caractéristiques et ses types, les usages des SMA. Ensuite, nous avons exposé les réseaux WSN et les réseaux WBAN et nous avons fait une comparaison entre ces derniers, on définit le réseau WBAN, les capteurs utilisés dans ces réseaux, comment se fait la communication entre les capteurs et sur le réseau, le fonctionnement de ces capteurs et les usages de ce réseau dans les différents domaines et surtout dans le domaine médical.

Le système WBAN améliore le secteur médical, il permet d'obtenir une surveillance à distance au patient en temps réel au lieu d'aller à l'hôpital ou le médecin, il offre une aussi une surveillance pour les personnes âgées et protection contre les risques médicales.

CHAPITRE 02 :

La gestion de consommation énergétique et la communication dans WBAN

1. Introduction :

L'adoption pratique du WBAN ne pourrait être réalisée sans s'attaquer aux différents défis techniques, éthiques et sociaux auxquels ce type de réseaux est confronté. L'objectif principal est d'obtenir un réseau fiable et tolérant aux pannes avec un retard minimum et un débit maximum tout en considérant la consommation d'énergie en réduisant les communications inutiles. Les exigences des utilisateurs telles que la confidentialité, la sécurité, la facilité d'utilisation, la sécurité et la compatibilité sont également d'une grande importance. Le défi de la consommation énergétique concernant le WBAN est détaillé dans ce chapitre.

2. La consommation d'énergie

Pour assurer le déploiement confortable et discret des appareils sans fil dans / sur le corps humain, les nœuds de capteur ou d'actionneur WBAN doivent avoir une petite taille, ce qui limite évidemment la capacité de la batterie. Pendant ce temps, dans de nombreuses applications WBAN, le changement ou le remplacement de la batterie est impossible [13].

2.1. Les consommateurs d'énergie

Généralement, la consommation d'énergie d'un capteur ou d'un actionneur peut être divisée en trois domaines: la détection, la communication (sans fil) et le traitement des données, dans lequel la communication sans fil est susceptible d'être le composant le plus consommateur d'énergie. La puissance disponible dans les nœuds est souvent limitée. La taille de la batterie utilisée pour stocker l'énergie nécessaire est dans la plupart des cas le plus gros contributeur au dispositif capteur en termes de dimensions et de poids. Par conséquent, les batteries sont réduites et la consommation d'énergie des appareils doit être réduite. Dans certaines applications, le nœud de capteur / actionneur d'un WBAN doit fonctionner tout en prenant en charge une durée de vie de la batterie de plusieurs mois, voire des années, sans intervention. Par exemple, un stimulateur cardiaque ou un glucomètre nécessiterait une durée de vie supérieure à 5 ans. Surtout pour les dispositifs implantés, la durée de vie est cruciale. Le besoin de remplacement ou de recharge induit une pénalité de coût et de commodité qui n'est pas souhaitable non seulement pour les dispositifs implantés [14].

Par conséquent, la conception d'un protocole de communication économe en énergie est extrêmement importante pour réduire la consommation d'énergie. Et les stratégies d'économie d'énergie doivent prendre en charge une consommation d'énergie uniforme, en se concentrant sur l'équilibrage de la consommation d'énergie entre tous les nœuds comprenant le réseau [14].

Outre la communication sans fil, plusieurs causes de gaspillage d'énergie ont été identifiées dans les réseaux WBAN, notamment les collisions, les écoutes excessives, l'écoute au ralenti, la surémission, le contrôle des frais généraux des paquets et les fluctuations du trafic. Des collisions se produisent lorsque deux

nœuds ou plus tentent d'accéder simultanément au canal de communication. L'écoute inactive est lorsqu'un nœud écoute à un canal manquant de trafic. La surproduction se produit lorsque les nœuds reçoivent des paquets qui ne leur sont pas destinés. La surcharge du paquet de contrôle se produit lorsqu'un nœud ajoute trop d'en-têtes de contrôle à la charge utile. Enfin, la surémission signifie que de nombreuses retransmissions sont nécessaires pour qu'un paquet atteigne sa destination [20].

2.2. Solutions pour récupération de l'énergie

La durée de vie d'un nœud pour une capacité de batterie donnée peut être améliorée en récupérant l'énergie pendant le fonctionnement du système. Si l'énergie récupérée est supérieure à l'énergie moyenne consommée, ces systèmes pourraient fonctionner éternellement. Cependant, la récupération d'énergie ne fournira que de petites quantités d'énergie [16].

Une combinaison de faible consommation d'énergie et de récupération d'énergie est la solution optimale pour réaliser des réseaux autonomes sans fil de la zone du corps. Pour un WBAN, la récupération d'énergie à partir de sources sur le corps telles que la chaleur corporelle et les vibrations corporelles semble très bien adaptée. Dans le premier, un générateur thermoélectrique est utilisé pour transformer la différence de température entre l'environnement et le corps humain en énergie électrique [17]. Ce dernier utilise par exemple la démarche humaine comme source d'énergie [18].

Pendant la communication, les appareils produisent de la chaleur qui est absorbée par les tissus environnants et augmente la température du corps. Afin de limiter cette élévation de température et en plus d'économiser les ressources de la batterie, la consommation d'énergie doit être limitée au minimum. La quantité de puissance absorbée par le tissu est exprimée par le taux d'absorption spécifique. Étant donné que l'appareil peut être à proximité ou à l'intérieur d'un corps humain, le taux d'absorption spécifique localisé peut être assez important. Le taux d'absorption spécifique localisé dans le corps doit être minimisé et doit être conforme aux réglementations taux d'absorption spécifique internationales et locales. La réglementation pour la transmission à proximité du corps humain est similaire à celle des téléphones mobiles, avec des exigences strictes en matière de puissance de transmission [19].

Une technique courante consiste à permettre aux appareils de dormir la plupart du temps et donc à réduire le cycle de service. Les demandes de puissance de crête du WBAN en mode veille varient entre 0,001 mW et 0,1 mW et nécessitent jusqu'à 30 mW en mode actif [15].

3. La communication sans fil dans WBAN

La communication sans fil dans un WBAN est produite entre les capteurs corporels de WBAN, et comme tous les réseaux sans fil, il existe des problèmes dans la communication sans fil entre les capteurs. Nous aurons présenté les problèmes les plus courants dans la communication entre les capteurs.

3.1. Défauts au niveau du capteur dans la communication sans fil

Le défaut est une erreur ou un bug dans une ou plusieurs capteurs et peut affecter sur les fonctionnalités du système, il peut s'agir d'un défaut matériel physique ou d'un défaut logiciel. Si le défaut est constaté, il est alors appelé défaut actif. Un exemple de défaut actif est la batterie déchargée d'un capteur. Si le défaut ne peut pas être facilement remarqué, il s'agit alors d'un défaut passif, tel qu'un bug dans le code. Si une panne se produit et n'est pas prise en compte, il est possible qu'elle s'étende et affecte d'autres composants du système et devienne par conséquent une erreur [21].

Si des erreurs se propagent, elles peuvent entraîner une défaillance du système. Dans ce cas, le système n'atteint pas le service correct qu'il est censé offrir. Par exemple, lorsqu'un nœud épuise son énergie en raison d'une panne de batterie morte, une erreur de connexion avec d'autres nœuds se produit. Le nœud mort n'est plus en mesure de fonctionner dans le réseau et les autres nœuds ne peuvent plus en recevoir de données. Cela signifie qu'une erreur se propage au sein du réseau, entraînant une anomalie dans le comportement du réseau, ce qui provoque une défaillance du réseau. Cependant, toutes les erreurs ne conduisent pas à une défaillance globale du système car elles ne sont pas en mesure d'affecter l'état externe du système. Bien que la survenue de défauts n'entraîne pas nécessairement une panne du système, il est essentiel de contrôler les défauts de la propagation pour éviter une panne du système [21].

La figure suivante présente les différents types de défauts pouvant survenir dans la communication sans fil.

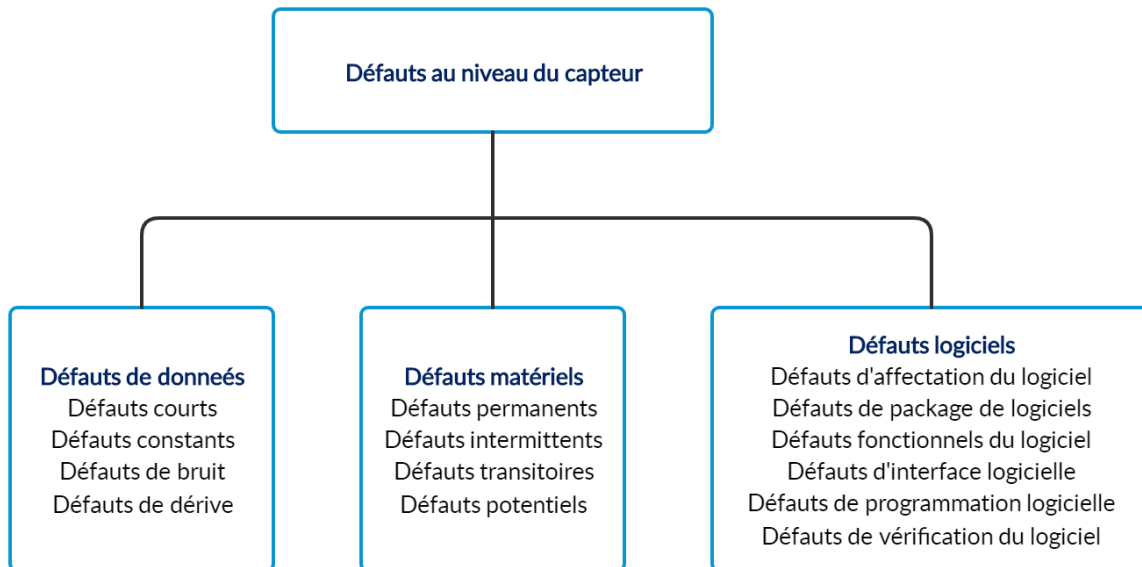


Figure 6 : Défauts au niveau du capteur

Comme d'autres réseaux sans fil, un WBAN se compose de nœuds et de liaisons de communication. Les nœuds sont construits à partir de composants matériels et de composants logiciels. Pour une meilleure compréhension des types de défauts qui peuvent survenir dans un WBAN, les défauts sont classés en deux classes générales selon l'endroit où elles peuvent survenir: le niveau du capteur et le niveau du canal [21].

3.1.1. Défauts au niveau du capteur

Le capteur est l'entité réseau de base qui comprend des composants matériels tels que l'émetteur-récepteur, la mémoire et le microcontrôleur ainsi que les composants logiciels, tels que le programme d'application réel installé dans le microcontrôleur, les protocoles MAC, les algorithmes de routage, etc. Les défauts associés aux capteurs dans les réseaux sans fil comprennent les défauts de données, les défauts matériels et les défauts logiciels [22].

3.1.1.1. Défauts de données

Ce défaut est lié à une anomalie des lectures des capteurs [22]. Diverses raisons peuvent provoquer des défauts de données, par exemple:

—**Défaut court** : Cette faille a un impact mineur sur le système et est constatée en présence d'une pointe. Il est appelé court car il s'agit simplement d'une oscillation de courte durée sur le signal de lecture du capteur [23].

—**Défaut constant** : Il s'agit d'une répétition invariante de valeurs aléatoires, qui sont notées comme des signaux plats constants des lectures du capteur [24].

—**Défauts de bruit** : Ce type de défaut fait perdre aux capteurs leur entrée de données et réduit ainsi le rapport signal / bruit [24].

—**Défauts de dérive** : Lorsque les signaux de lecture s'écartent de la spécification d'origine et persistent, l'erreur est considérée comme une erreur de dérive, ce qui fausse les données du capteur [24].

Les défauts de données peuvent être réduits en appliquant des mécanismes de traitement du signal qui fournissent des services pour valider les lectures des capteurs [24].

3.1.1.2. Défauts matériels

Les défauts matériels peuvent être classés de différentes manières, par exemple en fonction de leur durée. Ils peuvent être classés en défauts permanents, intermittents, transitoires et potentiels [25, 26]. Ces défauts sont décrits ci-dessous:

—**Défauts permanents** : les défauts permanents sont présents en permanence et leur effet reste stable jusqu'à ce que la source du défaut soit supprimée, corrigée ou remplacée. Les défauts de fabrication sur les composants matériels des capteurs sont un exemple de tels défauts [25].

—**Défauts intermittents** : ces défauts ne persistent pas en permanence, ils se produisent et disparaissent fréquemment. De tels défauts provoquent un état défectueux répété du réseau et par conséquent, leur diagnostic n'est pas un processus facile. Ils se produisent normalement en raison de conditions non environnementales, par exemple, lorsqu'un capteur perd la communication avec d'autres en raison d'un composant de capteur ancien [26].

—**Défauts transitoires** : également appelés «défauts légers». Ces défauts se produisent pour des raisons environnementales telles que la température, l'humidité, la pression, etc. Ils surviennent moins fréquemment que les défauts intermittentes car ils se présentent une fois puis disparaissent, après quoi le

système se comporte normalement. Par exemple, un paquet envoyé peut ne pas être reçu par le récepteur pour une raison environnementale, mais il est très probable qu'il sera reçu avec succès s'il est retransmis [26].

—**Défauts potentiels** : ces défauts se produisent lorsque l'une des ressources matérielles du nœud diminue. Ils désactivent la fonctionnalité du système dans son ensemble. Le système ne fonctionnera à nouveau que si la ressource supprimée est remplacée. Un exemple de défaut potentiel est lorsqu'un nœud meurt lorsque sa batterie est épuisée et est considéré comme inutile à moins que sa batterie ne soit rechargée ou remplacée [24].

3.1.1.3. Défauts logiciels

Le matériel d'un dispositif capteur fonctionne via des composants logiciels. L'analyse des défauts logiciels est nécessaire car tout défaut dans la fonctionnalité logicielle peut empêcher le capteur d'atteindre l'objectif souhaité. En général, les défauts logiciels sont classés en six types de défauts [24] :

—**Défauts d'affectation de logiciel** : cela se produit lorsque la phase d'initialisation n'est pas traitée correctement.

—**Défauts de package logiciel** : un exemple de cette erreur est celui qui se produit dans les bibliothèques système.

—**Défaut fonctionnel du logiciel** : ces défauts se produisent en raison d'erreurs dans le processus de conception du système qui lui permettent de se comporter mal, en ne proposant pas les fonctions requises.

—**Défauts d'interface du logiciel** : il s'agit d'une erreur de communication entre l'émetteur et le récepteur.

—**Défauts de programmation logicielle** : il s'agit du blocage qui se produit dans les opérations simultanées.

—**Défauts de vérification du logiciel** : cela se produit en raison d'une mauvaise validation du code de données ou d'erreurs en mathématiques logicielles.

3.1.2. Défauts au niveau du canal

Différents facteurs peuvent affecter le canal de communication entre les appareils capteurs. Cela comprend les interférences, les obstacles, les conditions

météorologiques et la puissance du signal. Le corps humain absorbe les rayons électromagnétiques, cette absorption d'énergie entraîne une décoloration des canaux qui affecte négativement les voies de propagation. Les voies de transmission sont également affectées par la réflexion, la diffraction, l'ombrage qui se produit en raison des mouvements rapides du corps, de la structure corporelle et de la posture. Le mouvement du corps provoque des changements fréquents dans la topologie du réseau [27, 28]. Tous ces facteurs conduisent à des erreurs de liaison de communication qui provoquent une dégradation du canal. Une altération du canal peut entraîner une utilisation insuffisante du canal. Cet effet augmente en cas d'urgence car les informations physiologiques sont normalement corrélées et en situation d'urgence, un groupe de capteurs peut être impliqué dans la transmission. Même si chaque composant du WBAN fonctionne correctement lorsque l'urgence survient, la transmission simultanée entraîne une collision et par conséquent, une perte de paquets et peut-être même une mort [29, 30].

3.2. Les échecs en communication sans fil

Les échecs sont une conséquence normale des défauts qui peuvent survenir aux niveaux des nœuds et des canaux [21, 22, 26]. Le système global peut cesser de fonctionner en raison de l'une des échecs illustrés dans la figure suivante.

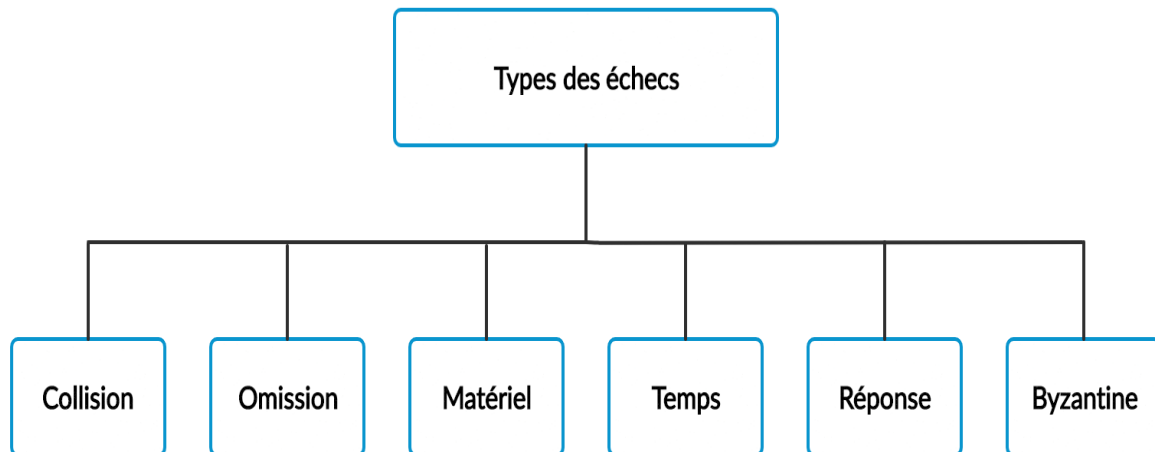


Figure 7 : Types des échecs

—**Échec de collision** : Lorsqu'il n'y a pas de réponse à une certaine demande, il est probable que le réseau souffre d'une panne de collision. Cela peut se produire en raison de la perte de messages ou de dommages physiques qui séparent les capteurs du réseau [22].

—**Échec de l'omission** : cela se produit en raison d'erreurs de transmission lorsque le système ne répond pas aux requêtes entrantes en raison d'une taille de tampon limitée. Les messages entrants et sortants ne sont pas traités. Les omissions de réception et d'envoi sont appelées omissions de canal [22].

—**Echec matérielle** : il s'agit d'une conséquence des défaillances matérielles qui se produisent dans les composants matériels principalement pour des raisons environnementales, comme mentionné précédemment. Une défaillance matérielle peut entraîner une défaillance du logiciel du nœud [21].

—**Echec de temps** : il s'agit d'un comportement opérationnel périodique du réseau. Dans ce cas, les nœuds répondent avec succès avec un message mais le message est reçu trop tard ou trop tôt selon l'intervalle de temps de message spécifié. Ainsi, le système synchrone en temps réel répond en dehors de la plage de l'intervalle de temps requis [22].

—**Échec de réponse** : cet échec se produit lorsque les nœuds envoient des messages avec succès et dans le temps mais que le message contient des informations de lecture incorrectes. Cela peut se produire en raison d'attaques

malveillantes, de bruit, de dysfonctionnements logiciels et de nombreuses autres raisons, comme indiqué précédemment. Par conséquent, les résultats cumulés ne seraient pas exactes, ce qui réduirait la fiabilité des applications. Il existe deux types d'échec de réponse. Si le système répond avec des réponses mauvaises, il s'agit d'un échec de valeur. Si le système répond par un procédure involontaire au mauvais moment pour gérer un flux de contrôle réduit, cela s'appelle un échec de transition d'état. Il génère des informations non pertinentes en tant que réponse [26].

—**Échec Byzantin** : si le système génère des valeurs aléatoires à des moments aléatoires, il est alors considéré comme une échec byzantine. La gestion de ces échecs est compliqué, car pendant le traitement, cet échec néglige les mesures de traitement requises et suit un traitement involontaire. Cela produit par conséquent des messages incorrects ou une utilisation simultanée des canaux en raison de la transmission de messages multiples [21,22].

4. Conclusion

Dans la conception du WBAN, en raison de la durée de vie limitée de la batterie des capteurs, l'économie d'énergie est d'une importance capitale. Ce chapitre discute l'importance de l'efficacité énergétique dans les capteurs et le réseau, et propose des solutions pour récupérer l'énergie consommée. Aussi, il présente l'importance de communication entre les capteurs et les problèmes qui se produisent lors de la communication.

CHAPITRE 03 :

L'architecture générale

1. Introduction

Le rôle principal d'un réseau de capteurs corporels est de suivre de façon continue l'état du corps humain en fournissant des données à la station de base (PDA). En effet, les réseaux de capteurs corporels souffrent de nombreux problèmes tels que la durée de vie des capteurs corporels, la consommation énergétique, etc...

Depuis le siècle dernier, de nombreux chercheurs se sont intéressés aux problèmes impliquant plusieurs agents artificiels, la solution est l'émergence de l'intelligence artificielle distribuée, qui consiste à la distribution de l'intelligence sur un ensemble d'agents pour résoudre un problème ou bien réaliser un objectif qui ne peut être atteint que par la collaboration de ces agents tant que le travail individuel d'un agent n'est pas suffisant. De ce fait, les agents sont un choix évident dans le domaine des réseaux de capteurs pour résoudre plusieurs problèmes. Plusieurs recherches ont proposés des moyens pour utiliser efficacement l'agent dans ce genre de réseaux par une agrégation intelligente des données et un traitement local des informations détectées. Ils ont été jugés particulièrement utiles pour augmenter la durée de vie et réduire la consommation d'énergie.

2. SMA pour WBAN

Le problème de la consommation d'énergie a attiré la plupart des chercheurs dans ce domaine. Pour couvrir cette limitation, plusieurs techniques sont appliquées, et les systèmes multi-agents représentent une solution ambitieuse. L'idée principale, c'est d'utiliser des systèmes multi-agents, ceci réside dans l'exploitation de la coopération entre les agents pour réduire le coût de la collecte de l'information et de la transmission.

L'intégration de SMA au WBAN permet une modélisation plus générique et la capacité de décrire de nouveaux types de capteurs intelligents pour résoudre les problèmes de communication et de gestion de l'énergie. Par conséquent, nous avons intégré un agent dans chaque nœud de capteur pour assurer une bonne gestion de la communication intelligente entre les nœuds de capteur afin d'augmenter la durée de vie du réseau.

Les propositions les plus importantes sont la réduction de l'information transmise et l'utilisation d'agents mobiles pour recueillir et transmettre des informations.

2.1. Types des agents

La technologie des agents présente d'intéressantes perspectives pour divers domaines d'applications de l'ère actuelle. Dans ce système, on va utiliser trois types des agents qu'ils sont :

- Agent contrôleur.
- Agent mobile de suivre.
- Agent décideur.

2.1.1. L'agent contrôleur

La batterie fournit l'énergie au capteur pour il peut fonctionner mais l'énergie dans ces capteurs est limitée ce qui réduit la durée de vie dans ces capteurs.

Donc, la gestion d'énergie dans les capteurs corporels est très importante. Pour cela, l'agent de contrôle d'énergie contrôle et suit l'énergie consommée dans les capteurs corporels pour augmenter la durée de vie.

2.1.2. L'agent mobile de suivi

Un agent mobile est un processus qui a la capacité de se déplacer pendant son exécution dans une machine d'un hôte à un autre dans un réseau en conservant son état interne.

L'agent mobile de suivi peut traiter les analyses physiques mesurées par les capteurs corporels. Deuxièmement, il suit et vérifie l'état du corps par l'analyse des paquets traités, et il transporte les paquets traités au capteur de collecte. La figure 08 présente un réseau WBAN utilise un seul agent mobile.

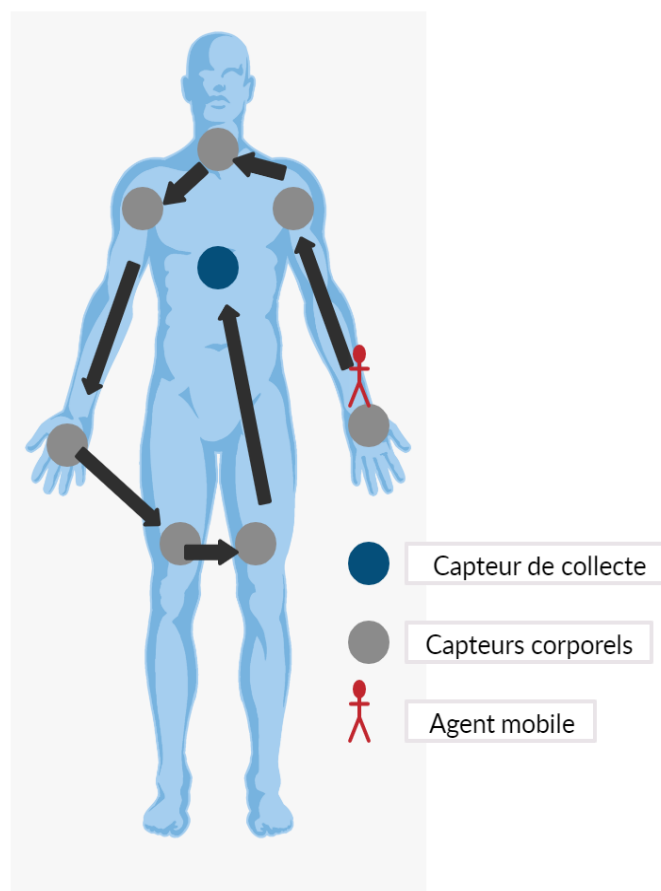


Figure 8 : Architecture à base d'agent mobile.

Un seul agent pour l'agrégation des données n'est pas une bonne solution pour réduire l'énergie consommée. L'agent mobile souffre d'une surcharge, et le temps de livraison est en relation avec le nombre des nœuds qui seront visités. Pour éviter ce problème, on peut utiliser multi-agents mobiles qui seront diffusés dans le réseau pour faire l'agrégation et la transmission des paquets. La figure 09 présente le réseau WBAN à base multi-agents mobiles.

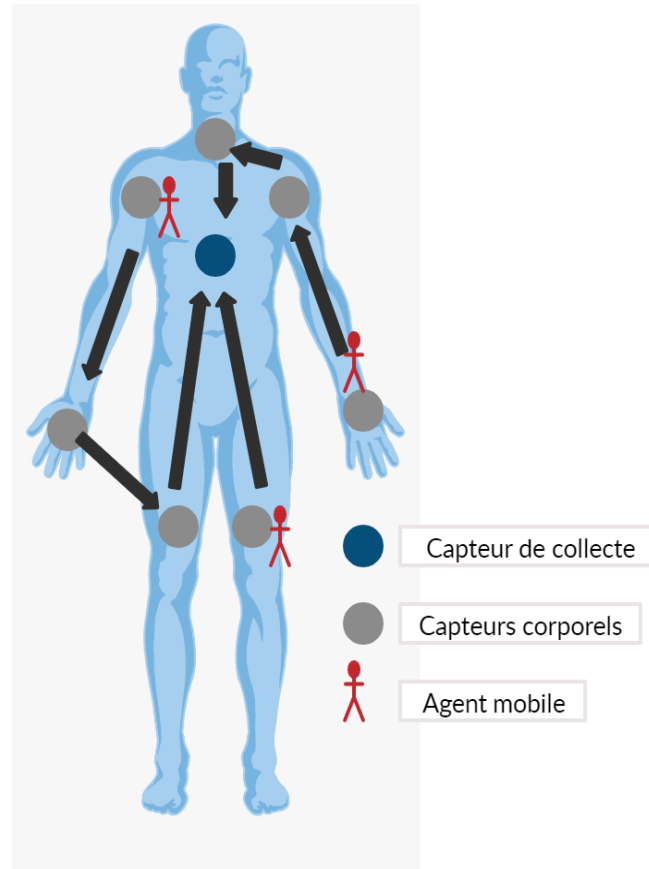


Figure 9 : Architecture à base multi-agents mobiles.

2.1.3. L'agent décisionnaire

L'agent de décision est existé dans le PDA. Il prend des décisions sur l'état du patient dans le réseau WBAN via les paquets transmis par les agents mobiles. Le type de cet agent est agent de planification, il a donc des capacités de raisonnement et de décision basées sur la mission globale du WBAN.

2.2. Architecture des agents

On présente l'architecture générale et les principaux comportements des différents agents. L'architecture interne d'un agent est une carte de ses fonctions. D'autre part, l'architecture interne de chaque agent de notre SMA est dédiée à une fonction spécifique requise pour l'accomplissement du but de l'agent. Notre système SMA est basé sur trois agents (l'agent de contrôle d'énergie, l'agent mobile de suivi, l'agent de décision).

La figure suivant montre l'architecture générale de chaque agent dans le système multi-agents.

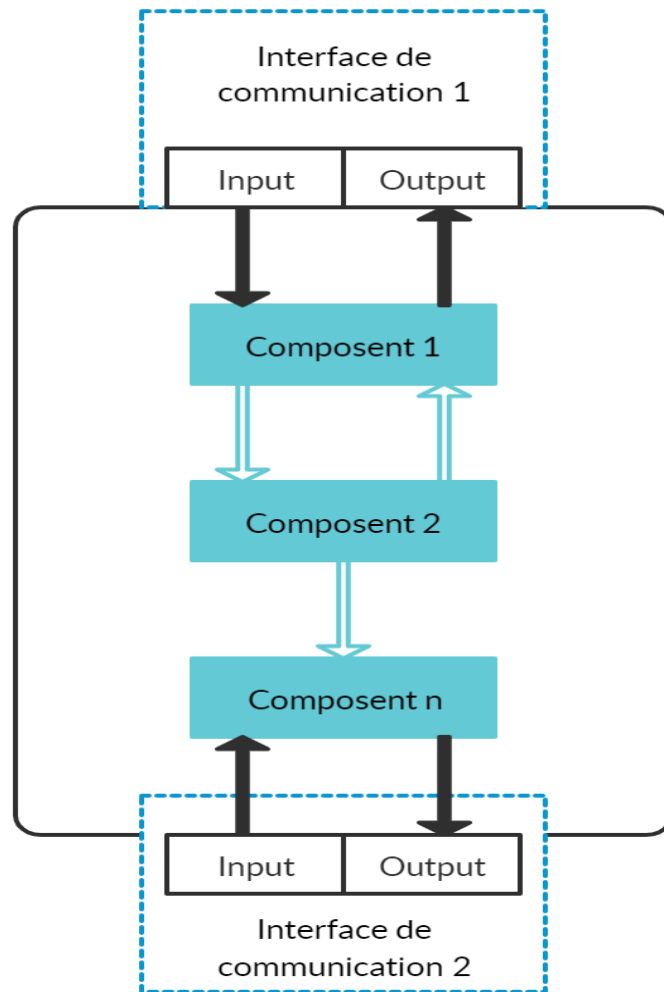


Figure 10 : Architecture générale des agents.

2.2.1. Architecture d'agent contrôleur

L'agent contrôleur possède un rôle principal dans notre système, son rôle principal est de contrôler les ressources énergétiques dans les capteurs corporels. Il est programmé pour gérer l'énergie consommé afin d'augmenter la durée de vie de capteur.

La figure 11 présente un diagramme schématique de l'agent contrôleur. Chaque capteur a son agent de contrôle d'énergie. L'agent de contrôle communique avec l'agent de décision pour vérifier l'énergie consommé dans le capteur tant qu'il fait ses tâches.

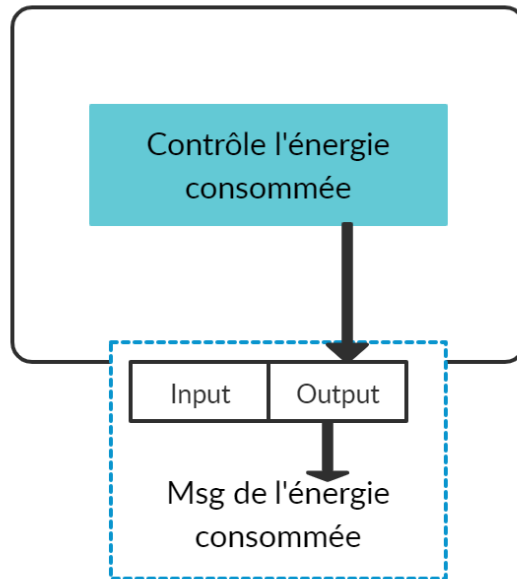


Figure 11 : Architecture d'agent contrôleur.

La figure 12 représente le diagramme d'activité de l'agent contrôleur dans le réseau WBAN.

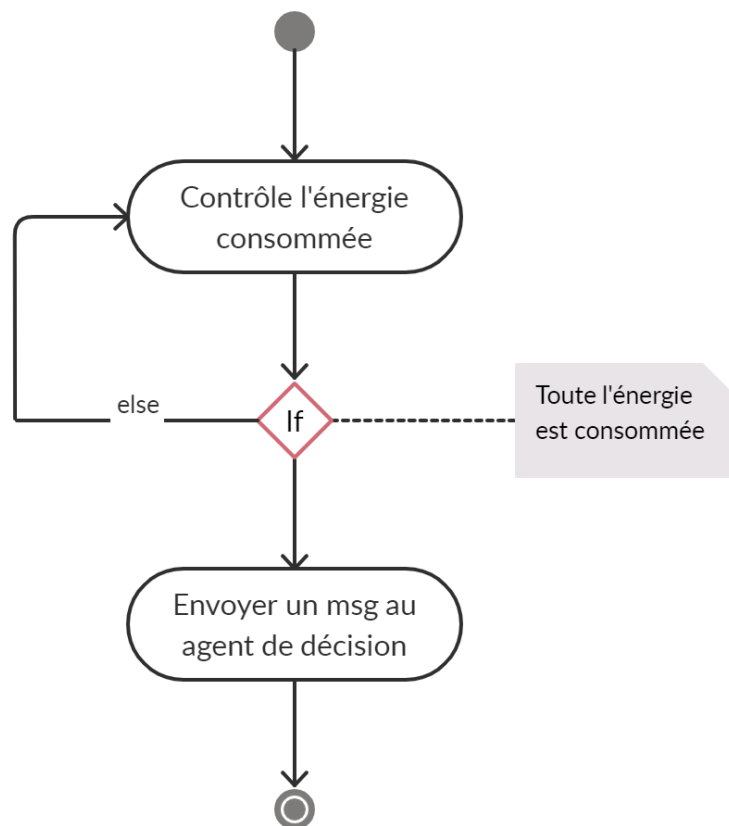


Figure 12 : Diagramme d'activité d'agent contrôleur.

Comportement : Agent contrôleur

Output: (i) l'énergie consommé

1: try

2: if (l'énergie est consommée) then

3: Envoyer un msg à l'agent de décision // via output interface

4 : enregistre les données dans la base de connaissance

5: throw exception;

6: break:

7: catch (exception)

2.2.2. Architecture d'agent mobile de suivi

Les agents mobiles de suivi sont des entités qui suivent les mesures physiques et se déplacent d'un nœud à autre nœud sur le réseau afin de satisfaire le besoin de leurs clients. Sur chaque nœud, ils traitent les informations collectées. Ce traitement (recherche, filtrage, tri,...) permet de réduire la quantité d'informations transportées avec l'agent et par conséquent le trafic sur le réseau.

La figure 13 représente le fonctionnement de l'agent mobile de suivi. Il traite des paquets via les signaux vitaux, il vérifie l'état à travers le traitement des paquets, il collecte les paquets traités à partir d'un nœud et il leur transfère à le nœud contrôleur (capteur de collecte).

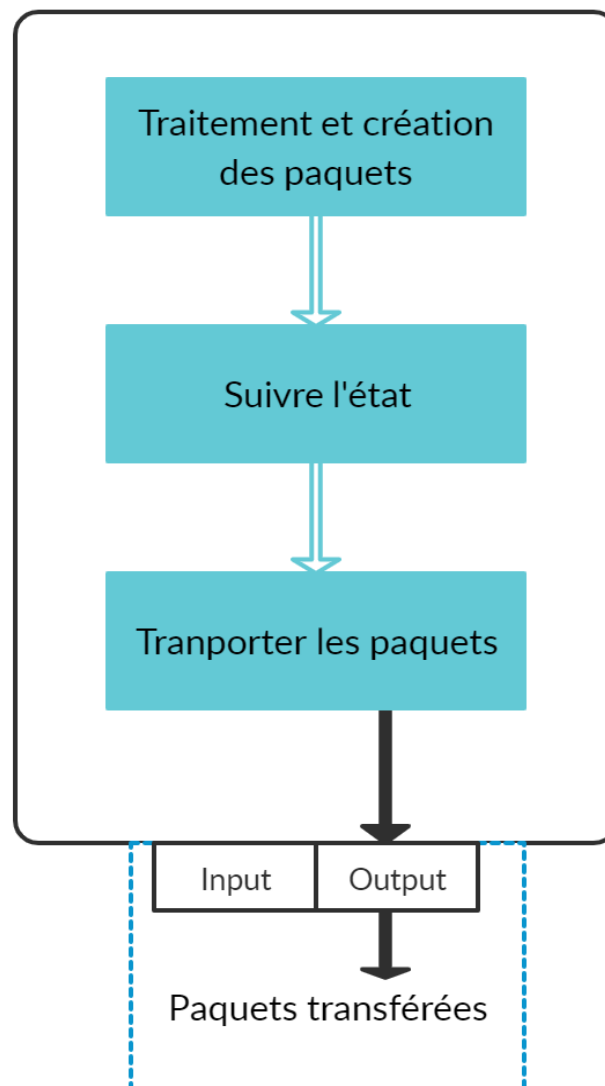


Figure 13 : Architecture d'agent mobile de suivi.

La figure 14 montre les détails du comportement des agents mobiles de suivi sur les réseaux WBAN.

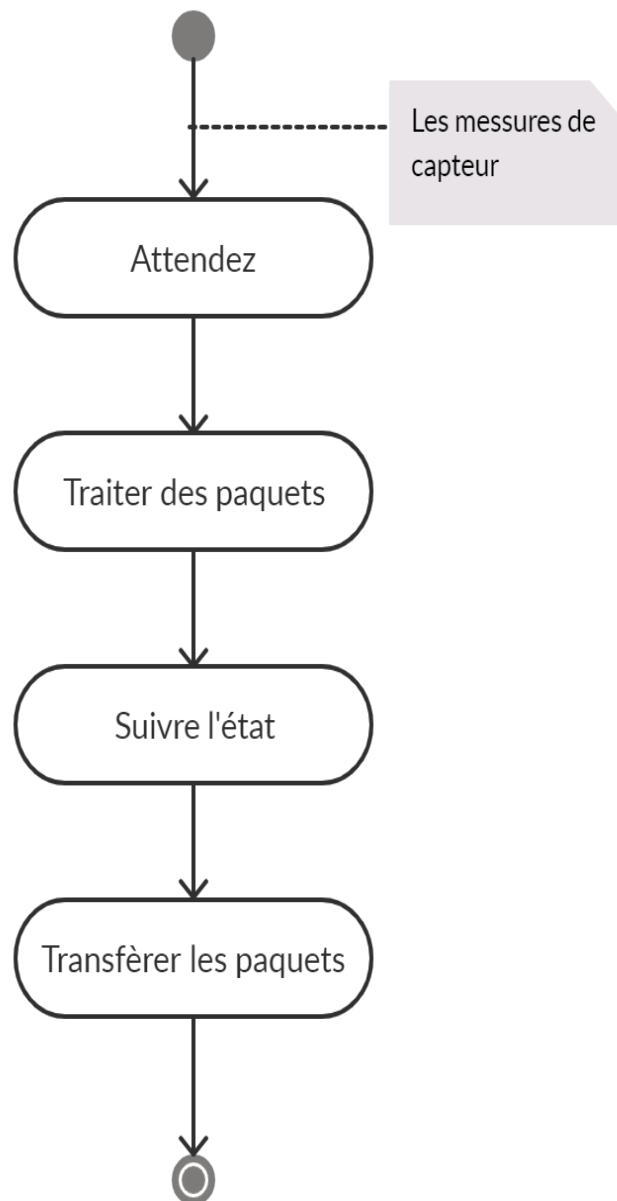


Figure 14 : Diagramme d'activité d'agent mobile de suivi.

Comportement : Agent mobile de suivi

Output : (i) les paquets traités de capteur

1: try

2: if (signes est mesuré) then

3: création et traitement des paquets

4: Processus de transport (paquets traités)// via output interface

5: throw exception;

6: break:

7: catch (exception)

2.2.3. Architecture d'agent décisionnaire

L'agent décideur fait un diagnostic et prend des décisions si le patient en état stable, état d'urgence ou il nécessite le médicament.

La figure 15 représente l'architecture générale de l'agent décisionnaire. Il vérifie les paquets arrivées afin de prendre une décision concernant l'état du corps humain de patient.

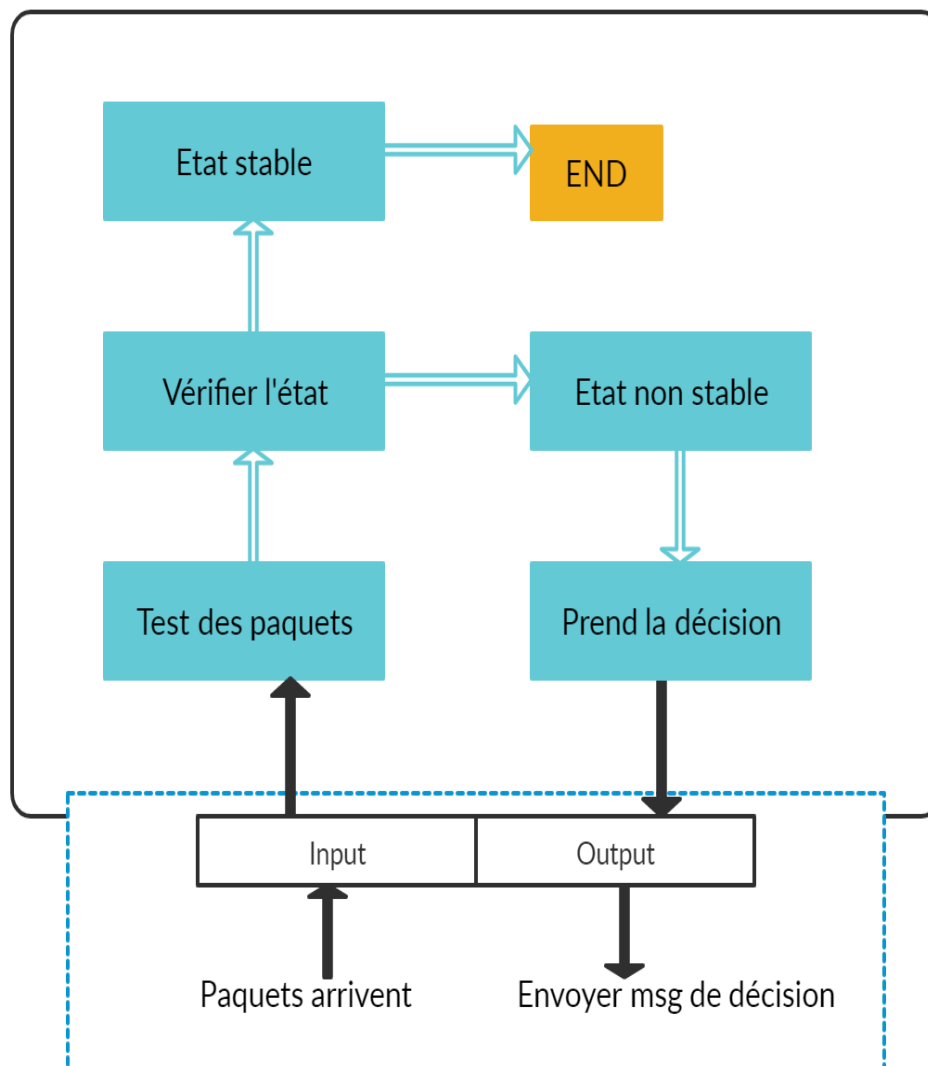


Figure 15 : Architecture d'agent décisionnaire.

La figure 16 représente le diagramme d'activité de l'agent décisionnaire.

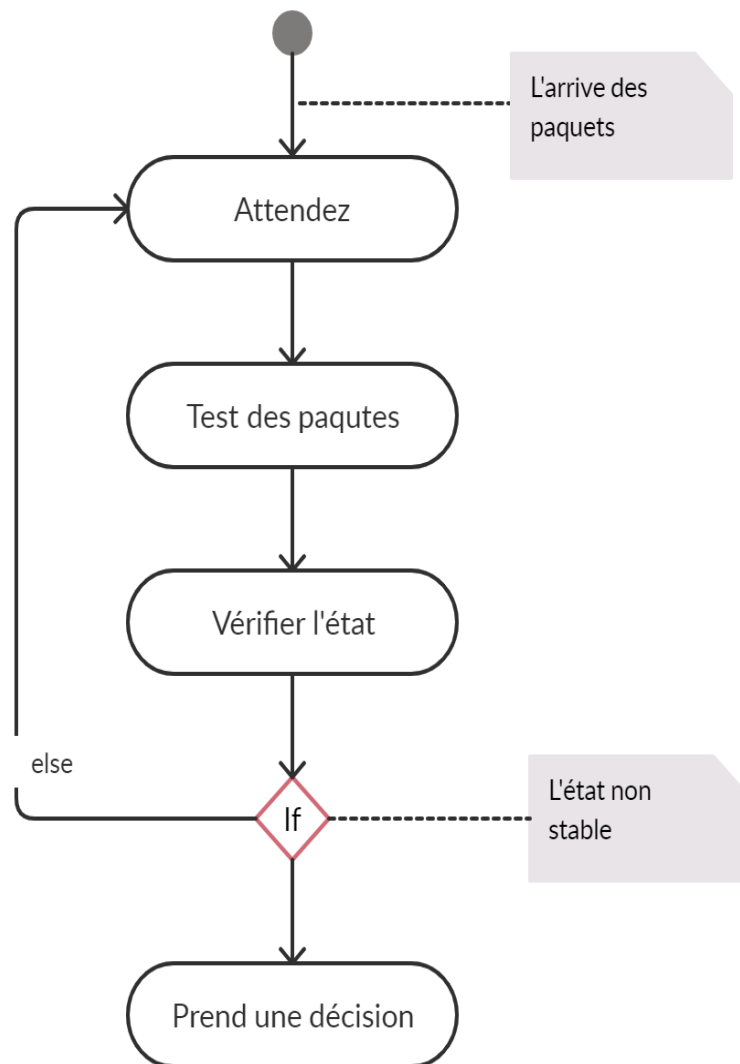


Figure 16 : Diagramme d'activité d'agent décisionnaire.

Comportement : Agent de décision

Input : (i) paquets des agents

Output : (i) réponse message de décision

1: try

2: case (input interface)

3: if (paquets de l'agent mobile de suivi) then

4: Test des paquets

5: Envoyer réponse de décision // via output interface

6: throw exception;

7: break;

8: catch (exception)

2.3. La communication entre agents

Les agents dans le SMA doivent interagir et communiquer entre eux pour coordonner leurs activités, échanger et comprendre les messages. Pour les agents interagissent, ils doivent utiliser un langage de communication commun comme le JADE (Java Agent DEvelopment Framework).

La communication dans ce système sera entre les agents mobiles de suivi et l'agent décisionnaire en utilisant un protocole qui décrit la séquence des messages qui peuvent être échangées spécifiée dans un langage. L'agent mobile de suivi transfère les paquets traités à l'agent décisionnaire, après l'agent décisionnaire vérifie les paquets, il prend et envoie la décision à l'agent mobile si il y'a un besoin.

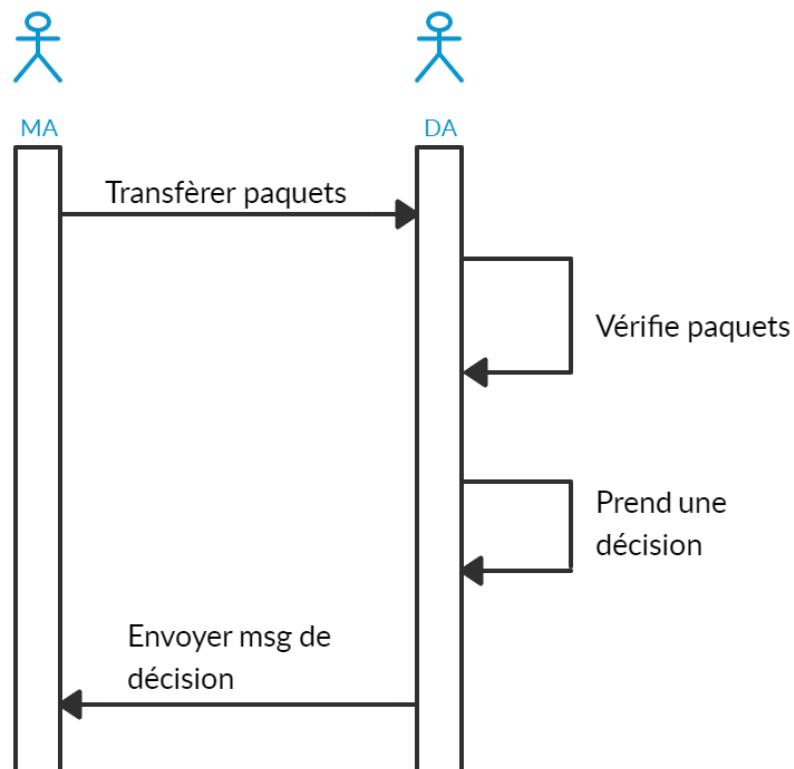


Figure 17 : Communication entre agent mobile de suivi et agent de décision.

Aussi, on trouve une communication entre l'agent de décision et l'agent de contrôle d'énergie. Tant que toutes les ressources énergétiques sont consommées, l'agent de contrôle envoie un message qui possède que la durée de vie de capteur est expirée.

2.4. Les avantages d'utiliser des agents dans WBAN

L'agent se déplace d'une façon autonome entre les nœuds d'un réseau pour réaliser certaines tâches localement. Ces agents s'exécutent d'une façon asynchrone ce qui permet de dire que ce paradigme est mieux adapté que les capteurs connectent entre eux directement.

Le tableau suivant présente les avantages de l'utilisation des agents intégrés dans un réseau WBAN. Ce mécanisme permet de réduire la consommation d'énergie par les capteurs et augmenter la durée de vie de capteurs et alors la durée de vie de WBAN. En plus, les informations transférées sont réduits par le traitement des paquets et donc le trafic dans le réseau.

Modèle d'agrégation	A base de SMA
Gain énergétique	Augmenter la durée de vie de WBAN avec la considération de l'énergie nécessaire pour l'exécution des agents
Temps de livraison	Dépend du nombre d'agents mobiles diffuser dans le réseau
Qualité d'information	Information traitée et bien précise

Tableau 4 : Avantages d'utiliser de SMA.

4. Description globale de scénario

Le scénario proposé WBAN est composé de cinq nœuds : un contrôleur et quatre capteurs médicaux avec une topologie en étoile. Chaque capteur fonctionne avec un agent mobile de suivi qui suit l'état du corps par le traitement des paquets et se déplace entre le capteur et le contrôleur à cause de transporter les mesures analysées du corps humain comme la température ou le battement de cœur. Les agents mobiles de suivi traitent les mesures de signes vitaux analysées par les capteurs avant de transporter au nœud central en raison de réduire les paquets envoyés, réduire l'énergie consommée sur les capteurs utilisés, augmenter la durée de vie et réduire la durée de la tâche dans le réseau WBAN. L'utilisation des agents mobiles de suivi simplifie les actions des capteurs corporels dans le réseau WBAN. Les capteurs corporels divisés en deux types de travail : les capteurs qui mesurent les signes vitaux de corps, le capteur de collecte ou le contrôleur qui reçoit les mesures analysées du corps afin de diagnostiquer l'état du patient.

En plus, les agents de contrôle d'énergie gèrent l'énergie consommée dans chaque capteur pour avoir les avantages d'amélioration de la consommation d'énergie.

L'agent de décision prend la décision via les paquets transmis par les agents mobiles et vérifie l'état du patient à tout moment pour simplifier le travail des médecins, il peut savoir si le patient est stable, s'il a besoin de médicament, ou pour aller à l'urgence ou s'il exige la venir de médecin.

La figure 18 représente la description de notre réseau WBAN (les capteurs utilisés sur le corps et tous les types des agents proposés) avec une topologie simplifiée et simple.

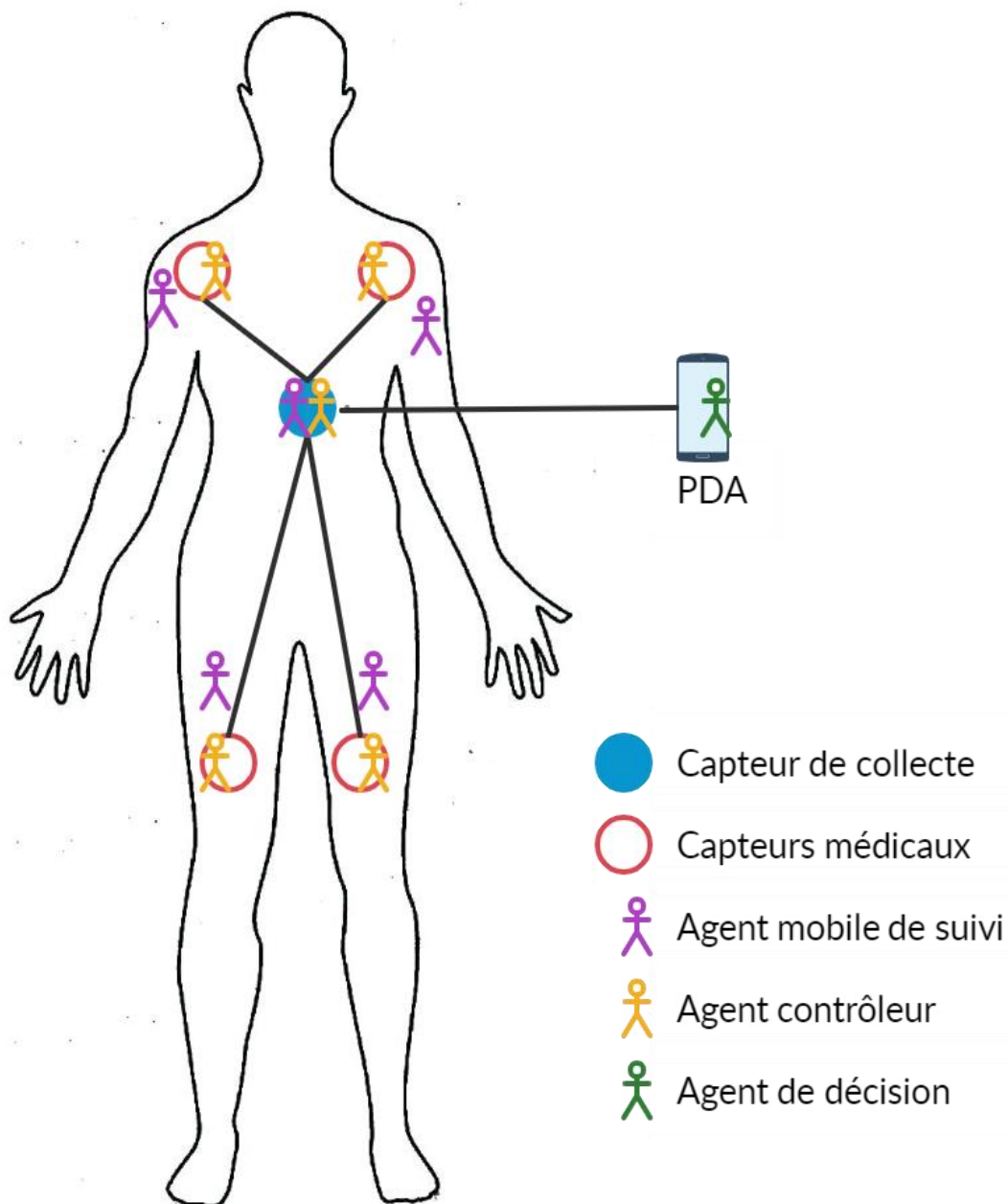


Figure 18 : Le scénario proposé.

Le scénario proposé est utilisé pour les personnes qui ont déjà le nouveau virus corona, qui est un nouveau virus apparait dans la fin de 2019 en china et propageait dans le monde en 2020. Ce virus infecte le système respiratoire du corps humain et cela mène même à la mort. Le réseau WBAN facilite le travail des médecins sur les hôpitaux parce qu'il remplace les médecins qu'ils peuvent suivre plusieurs patients en même temps en utilisant les réseaux WBAN au lieu d'un seul patient. Les capteurs utilisés dans ce scénario sont :

-
- Capteur de température : Il mesure la température du corps humain et/ou de l'environnement entourant le patient. Le capteur d'humidité est utilisé pour mesurer l'humidité de l'environnement entourant le patient.
 - Capteur de détection de CO₂ : Il mesure le niveau de dioxyde de carbone gazeux pour surveiller les changements dans le niveau du CO₂, ainsi que pour surveiller la concentration d'oxygène lors de la respiration humaine.
 - Capteur de pompe à médicament : Il injecte le médicament au moment où le corps humain a besoin du médicament.
 - Capteur d'électrocardiographie (ECG) : Il mesure les signaux électriques produits par le cœur et permet d'évaluer l'activité cardiaque.
 - Capteur de collecte (contrôleur) : Il collecte les mesures analysées par les autres nœuds capteurs et gère la situation du patient.

5. Conclusion

La consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs corporels reste toujours un problème persistant. Une stratégie de coopération intelligente entre les agents pour collecter les données est une solution importante pour améliorer la consommation énergétique et raffiner la qualité de l'information finale. Dans ce chapitre, on a passé en revue les principaux travaux de l'agrégation des données à base d'agent mobile. L'utilisation de la technologie des SMA ajoute l'intelligence au niveau de la gestion du réseau WBAN et ont comme objectif essentiel la réduction de la consommation d'énergie.

Dans ce chapitre, on a présenté les différents types des agents utilisés dans notre système et leurs architectures internes. On a présenté la communication entre ces agents et les avantages d'utiliser ces derniers. Dans la fin, on a proposé un scénario pour les malades de virus corona.

CHAPITRE 04 :
Implémentation et
simulation

1. Introduction

Dans cette section, nous allons tout d'abord présenter l'environnement de travail, ensuite nous allons détailler l'implémentation de notre système, et enfin nous allons présenter les résultats de simulation.

2. Environnement de simulation

2.1. Simulateur Eclipse

Eclipse est une plate-forme open-source de cadres d'application de développement logiciel extensible, d'outils et de temps d'exécution qui a été initialement créée comme un environnement de développement intégré (IDE) basé sur Java [31].

Bien qu'Eclipse ait été développé pour les applications Java, les plug-ins permettent aux programmeurs de développer des applications avec d'autres langages, notamment C, C ++, PHP, Python, etc... [31].

Le mécanisme de plug-in permet à Eclipse de travailler avec des applications réseau, des systèmes de gestion de base de données, un système de versions simultanées et des outils de modélisation, entre autres [31].

2.1.1. La langage Java

Java est un langage de programmation orienté objet, développé par l'entreprise Sun Microsystems. Il permet de créer des logiciels compatibles avec de nombreux systèmes d'exploitation (Windows, Linux, Macintosh). Java permet de développer des programmes pour les ordinateurs, aussi pour les téléphones mobiles, et les consoles de jeux, etc... [32].

2.2. Le Framework JADE

JADE (Java Agent DEvelopment Framework) est un Framework logiciel entièrement implémenté en langage Java. Il simplifie la mise en œuvre de systèmes multi-agents distribués basées sur une architecture de communication peer-to-peer grâce à un middleware conforme aux spécifications FIPA. Un système basé sur JADE peut être distribué sur plusieurs machines (qui n'ont même pas besoin de partager le même système d'exploitation) et la configuration peut être contrôlée via une interface graphique distante. L'intelligence, l'initiative, l'information, les ressources et le contrôle peuvent être entièrement distribués sur les terminaux mobiles ainsi que sur les hôtes du réseau fixe. L'environnement peut évoluer dynamiquement avec des agents qui apparaissent et disparaissent dans le système selon les besoins et

les exigences du contexte. Chaque agent pouvant jouer à la fois le rôle d'initiateur et celui de répondeur [33].

JADE est entièrement développée en Java et est basé sur les principes suivants [33] :

—Interopérabilité : JADE est conforme aux spécifications FIPA. Par conséquent, un agent JADE peut interagir avec d'autres homologues qui ne s'exécutent pas sur le run-time JADE (à condition qu'ils respectent la même norme).

—Uniformité et portabilité : JADE fournit aux applications un ensemble d'API indépendantes du réseau sous-jacent et de la version Java. Plus en détail, le run-time JADE fournit les mêmes API à la fois pour l'environnement J2EE, J2SE et J2ME. En théorie, les développeurs pourraient décider de l'environnement d'exécution Java au moment du déploiement.

—Facilité d'utilisation : La complexité du middleware est cachée derrière un ensemble simple et intuitif d'API.

—Philosophie du paiement à l'utilisation : Les programmeurs n'ont pas besoin d'utiliser toutes les fonctionnalités fournies par le middleware. Les fonctionnalités qui ne sont pas utilisées n'exigent pas que les programmeurs en sachent quoi que ce soit, ni n'ajoutent de surcharge de calcul.

JADE comprend à la fois les bibliothèques de classes Java requises pour développer des agents d'application et l'environnement d'exécution qui fournit les services de base et qui doit être actif sur un périphérique donné avant qu'un ou plusieurs agents puissent être exécutés sur ce périphérique. Chaque instance de l'exécution JADE est appelée conteneur (car elle "contient" des agents). L'ensemble de tous les conteneurs est appelé plateforme et fournit une couche qui cache complètement aux agents (c'est-à-dire aux applications) [33].

3. Présentation des interfaces

Dans cette section, on va présenter les interfaces de notre simulation.

— La création de « Main-Container » : Le main-container est un conteneur spécial doit trouver dans chaque plateforme et tous les autres conteneurs s'enregistrent auprès de celui-là dès leur lancement.

```

package container;

import jade.core.ProfileImpl;

public class maincontainer {

    public static void main (String[] args) throws Exception {

        Runtime runtime = Runtime.instance();
        ProfileImpl profileimp = new ProfileImpl();
        profileimp.setParameter(ProfileImpl.GUI, "true");
        AgentContainer maincontainer = runtime.createMainContainer(profileimp);
        maincontainer.start();

    }
}

```

Figure 19 : Code de main-container.

— La création de « Container » de premier agent

```

public class firstagentcontainer extends Application {

    protected firstagent firstagent;
    protected ObservableList<String> observableListe;

    public static void main(String[] args) throws Exception {

        Launch(args);

    }

    public void startContainer() throws Exception {

        Runtime runtime = Runtime.instance();
        ProfileImpl profileimp = new ProfileImpl();
        profileimp.setParameter(ProfileImpl.MAIN_HOST, "localhost");
        AgentContainer container = runtime.createAgentContainer(profileimp);
        AgentController agent1 = container
            .createNewAgent("firstagent", "sma.firstagent", new Object[] {this} );
        agent1.start();

    }

    @Override
    public void start(Stage primaryStage) throws Exception {
        // TODO Auto-generated method stub
        startContainer();
    }
}

```

Figure 20 : code du conteneur de premier agent.

La création de premier agent : l'interface présente le code du premier agent.

```
public class firstagent extends GuiAgent {  
  
    private transient firstagentcontainer gui;  
  
    @Override  
    protected void setup() {  
        // TODO Auto-generated method stub  
        if (getArguments().length==1) {  
            gui= (firstagentcontainer) getArguments()[0];  
            gui.setFirstagent(this);  
        }  
  
        ParallelBehaviour parabehav = new ParallelBehaviour();  
        addBehaviour(parabehav);  
  
        parabehav.addSubBehaviour(new CyclicBehaviour() {  
  
            @Override  
            public void action() {  
                // TODO Auto-generated method stub  
                ACLMessage msg = receive();  
                if (msg != null) {  
                    gui.logMsg(msg);  
                }  
                else  
                    block();  
            }  
        }  
    }  
}
```

Figure 21 : Code du premier agent.

— L'interface de gestion d'agent à distance.

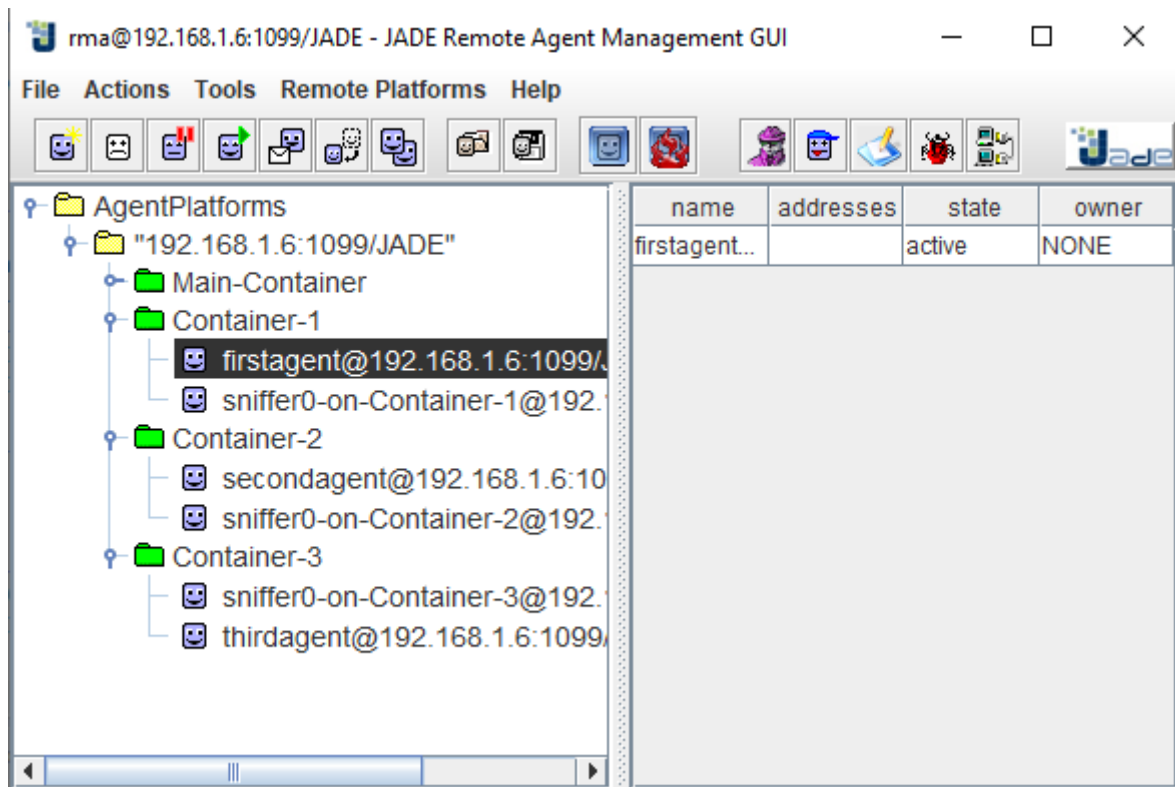


Figure 22 : Interface de gestion des agents.

— Les interfaces des agents : on va présenter l’interface graphique de chaque agent.

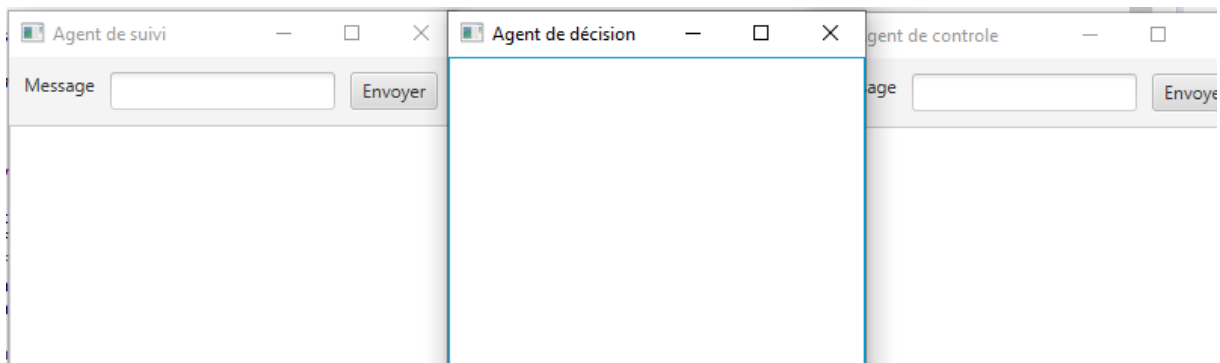


Figure 23 : Les interfaces des agents.

— La communication entre les agents : les agents envoient des messages de type « ACLMessage » pour communiquer.

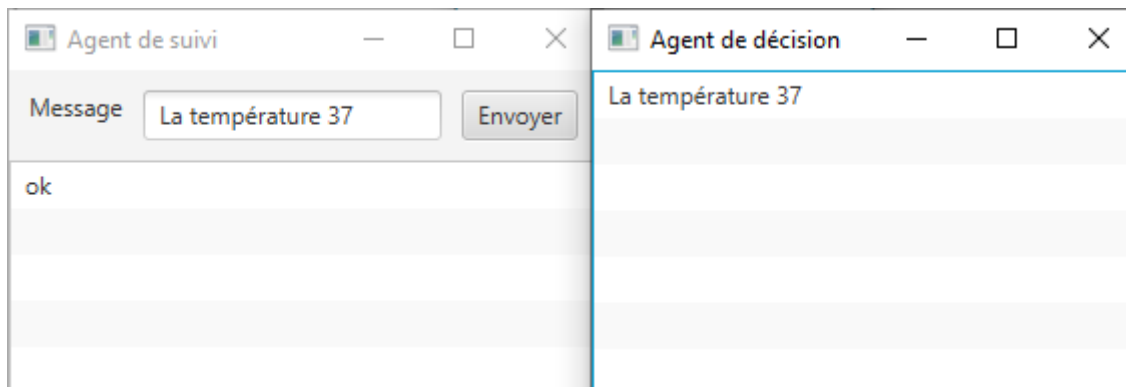


Figure 24 : Envoyer un message.

— L'interface de « sniffer » : Le sniffer présente les interactions entre tous les agents de système.

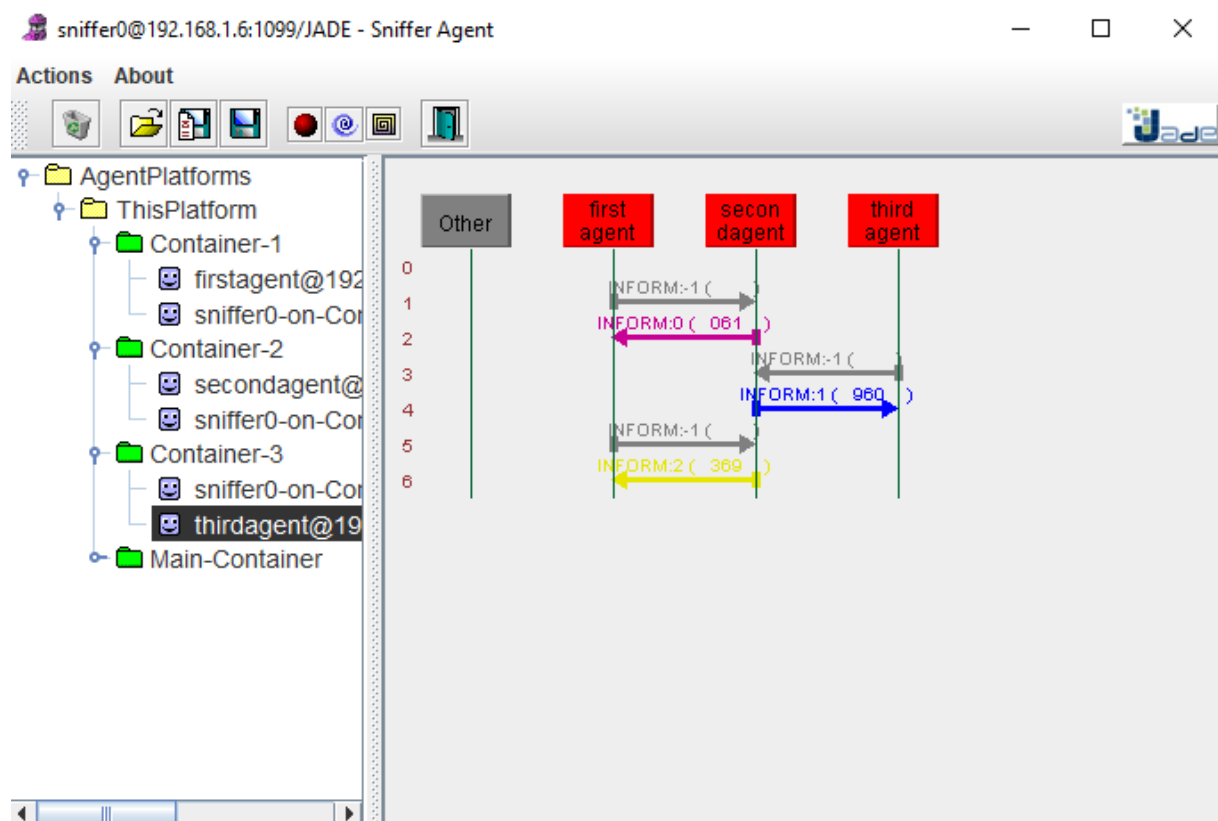


Figure 25 : Interface de "sniffer".

4. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la réalisation de notre plateforme dédiée à la simulation des agents intelligents communiquent entre eux pour l'envoyer des messages.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons consacré notre thèse pour réaliser une approche basée agent pour la gestion de la consommation d'énergie dans les réseaux (WBAN) Wireless Body Area Network. Cette étude a pour objectif d'améliorer la consommation énergétique dans les capteurs corporels et de développer l'intelligence par l'utilisation des multi-agents.

Tout d'abord, on a présenté les réseaux de capteurs corporels sans fil (WBAN) en générale et leurs domaines d'utilisation, les capteurs corporels, leur architecture et les différents types des capteurs médicaux, l'architecture de communication dans un réseau WBAN médical. Après, on a présenté brièvement les systèmes multi-agents.

Ensuite, Ensuite, on a montré l'importance de les ressources énergétiques lors de l'utilisation des capteurs corporels, et les fonctions qui menant à la consommation d'énergie. Aussi, les problèmes et les menaces qui surviennent pendant la communication sans fil dans le WBAN.

Dans le troisième chapitre, on a présenté les types des agents qui on va utiliser pour le WBAN, et l'architecture de chaque agent. En définitive, on a décrit le scénario proposé de notre réseau WBAN médical.

En fin de compte, on a présenté l'implémentation et la simulation de notre système.

Référence bibliographique

- [1] Michael Wooldridge, *An Introduction to Multiagent Systems*, John Wiley & Sons Editor, 2002.
- [2] Jacques Ferber. *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*. InterEditions, 1995.
- [3] N. R. Jennings, M. Wooldridge, and K. Sycara. A roadmap of agent research and development. *Int Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1998.
- [4] David Martins, "Sécurité dans les réseaux de capteurs sans fil Stéganographie et réseaux de confiance", L'U.F.R. des Sciences et Techniques de l'université de Franche-Comté, 2010.
- [5] Otto, C., Milenkovic, A., Sanders, C., & Jovanov, E. (2006). System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring. *Journal of mobile multimedia*.
- [6] Thèse par Ali MAKKE pour obtenir le grade de docteur de l'Université Paris Descartes Spécialité: Informatique et Réseaux Détection d'attaques dans un système WBAN de surveillance médicale à distance.
- [7] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankara subramaniam, and Eredal Cayirci. "Wireless sensor networks: a survey". *Computer Networks, The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 2002.
- [8] Min Chen, Sergio Gonzalez, Athanasios Vasilakos, Huasong Cao and Victor C. M. Leung, "Body Area Networks: A Survey", *Mob. Netw. Appl. Journal*, 2011.
- [9] Thèse par Bendjeddou Amira Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3ème Cycle LMD, Intitulé Prolongation de la Durée de Vie des Batteries dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF).
- [10] Luliana Chiuchisan, Oana Geman, Marius Prelipceanu and Hariton Costin, "Health Care System for Monitoring Older Adults in a "Green" Environment Using Organic Photovoltaic Devices", *Environmental engineering and management journal*, December 2016.
- [11] Mohammad Ghamari, Balazs Janko, R. Simon Sherratt, William Harwin, Robert Piechockic and Cinna Soltanpur "A Survey on Wireless Body Area Networks for eHealthcare Systems in Residential Environments", 2016.
- [12] Vaibhavi Bhelkar, D.K. Shedge, "Different types of wearable sensors and health monitoring systems: A survey", Published in 2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT), 2016.

- [13] Marwa Salayma, Ahmed Yassin Al-Dubai, "Wireless Body Area Network (WBAN): A Survey on Reliability, Fault Tolerance, and Technologies Coexistence", Published in CSUR, 2017.
- [13] S. Ullah et al., "A comprehensive survey of wireless body area networks," Jun. 2012.
- [14] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, Aug. 2002.
- [15] Samaneh Movassaghi, Mehran Abolhasan, Justin Lipman, David Smith, and Abbas Jamalipour. "Wireless body area networks: A survey. IEEE Communications Surveys and Tutorials", 2014.
- [16] B. Gyselinckx, C. Van Hoof, J. Ryckaert, R. F. Yazicioglu, P. Fiorini, and V. Leonov, "Human: autonomous wireless sensors for body area networks," in Custom Integrated Circuits Conference, 2005. Proceedings of the IEEE 2005, Sep. 2005.
- [17] B. Gyselinckx, J. Penders, and R. Vullers, "Potential and challenges of body area networks for cardiac monitoring", the 32nd annual conference, Journal of Electrocardiolog, november-december, 2007.
- [18] T. von Buren, P. D. Mitcheson, T. C. Green, E. M. Yeatman, A. S. Holmes, and G. Troster, "Optimization of inertial micropower generators for human walking motion," IEEE Sensors Journal, Feb. 2006.
- [19] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields", apr 1998.
- [20] Gopalan, S. and Park, J.T., "Energy-efficient mac protocols for wireless body area networks: Survey", Proceedings of the International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, IEEE, Santa Clara CA, USA, 2010.
- [21] Nancy Alrajei and Huirong Fu. "A survey on fault tolerance in wireless sensor networks". In Proceedings of the 3rd International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2014.
- [22] Sushruta Mishra, Lambodar Jena, and Aarti Pradhan. "Fault tolerance in wireless sensor networks". International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. 2012.
- [23] K. M. Karthick Raghunath and N. Rengarajan. "Investigation of faults, errors and failures in wireless sensor network: A systematic survey". International Journal of Advanced Computer Research, 2013.

- [24] Stefano Galzarano, Giancarlo Fortino, and Antonio Liotta. "Embedded self-healing layer for detecting and recovering sensor faults in body sensor networks". In Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). 2012.
- [25] Arunanshu Mahapatro and Pabitra Mohan khilar. "Online fault detection and recovery in body sensor networks". In Proceedings of the World Congress on Information and Communication Technologies (WICT). 2011.
- [26] Monia Bellalouna and Afef Ghabri. "A priori methods for fault tolerance in wireless sensor networks". In Proceedings of the World Congress on Computer and Information Technology (WCCIT). 2013.
- [27] Hongliang Ren and Max Q.-H. Meng. "Understanding the mobility model of wireless body sensor networks". In Proceedings of the IEEE International Conference on Information Acquisition. 2006.
- [28] Sana Ullah, Henry Higgins, Bart Braem, Benoit Latre, Chris Blondia, Ingrid Moerman, Shahnaz Saleem, Ziaur Rahman, and Kyung Sup Kwak. "A comprehensive survey of wireless body area networks". Journal of Medical Systems, 2012.
- [29] Bin Liu, Zhisheng Yan, and Chang Wen Chen. "A hybrid context-aware MAC protocol for wireless body area networks". In Proceedings of the 13th IEEE International Conference on e-Health Networking Applications and Services. 2011.
- [30] Sanaz Rezvani and Seyed Ali Ghorashi, "Context aware and channel-based resource allocation for wireless body area networks", 2013.
- [31] [Online]: techopedia.com/definition/3265/eclipse
- [32] [Online]: journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203555-java-definition/
- [33] Fabio Bellifemine, Federico Bergenti, Giovanni Caire and Agostino Poggi, "JADE - A JAVA AGENT DEVELOPMENT FRAMEWORK ".