

MEMOIRE

Présenté par

BOULEMTAFES Amine

Pour l'obtention du diplôme de MAGISTERE

Filière : INFORMATIQUE

Option : CLOUD COMPUTING

Thème

*Mobilité contextuelle dans un système de
surveillance médicale à distance*

Soutenu le : 29/09/2016

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mr TARI Abdelkamel

Professeur Univ. de Bejaia.

Président

Mr BADACHE Nadjib

Professeur USTHB/CERIST

Rapporteur

Mr BOUKERRAM Abdellah

Professeur Univ. de Bejaia

Examineur

Année Universitaire : 2015/2016

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الْحَمْدُ لِلَّهِ وَالصَّلَاةُ وَالسَّلَامُ عَلَى رَسُولِ اللَّهِ

Remerciements

Je remercie mon directeur de mémoire Prof. BADACHE Nadjib de m'avoir fait confiance en acceptant d'encadrer ce travail ainsi que pour ses conseils et orientations.

Je remercie aussi Prof. TARI Abdelkamel de l'Université de Béjaïa qui me fait l'honneur de présider ce jury, ainsi que Prof. BOUKERRAM Abdellah de l'Université de Béjaïa d'avoir bien voulu juger ce travail.

Enfin, je tiens à remercier Dr. BENZAID Chafika de l'Université Houari Bouemdiène pour l'intérêt porté à ce travail, ainsi que tous ceux qui m'ont aidé ou soutenu de près ou de loin.

ملخص

كان ارتفاع نسبة الشيخوخة عبر العالم وارتفاع تكاليف الرعاية الصحية الدافع الأول لتصميم أنظمة المراقبة الصحية عبر أجهزة الاستشعار. الغرض من هذه الأنظمة، بالإضافة إلى تخفيض التكاليف، هو تحسين نوعية حياة الناس خاصة المرضى وكبار السن، ليصبحوا بذلك أكثر استقلالية. لتصميم نظام مراقبة طبية عبر أجهزة الاستشعار، يجب الأخذ بالاعتبار بعض العوامل الهامة، خصوصا دعم تحرك وتنقل الشخص. هذا الأخير يتيح إمكانية مراقبة الأشخاص في أي مكان وزمان ليسمح بذلك بالكشف فورا عن الاضطرابات الصحية، والتنبؤ والوقاية من المشاكل الصحية الخطيرة مثل السقوط وتمكين الاستجابة والتفاعل الفوري مع الأشخاص المراقبين. الهدف من هذا العمل هو دراسة التقنيات والتكنولوجيات الرئيسية لدعم حرية تحرك وتنقل مستخدم الأنظمة السالفة ذكرها. من أجل ذلك، يعرض هذا العمل الاحتياجات التصميمية للآليات الرئيسية، وعدد من المتطلبات والتوصيات التكنولوجية لدعم التحرك والتنقل على شكل هيكل تخطيطي للتصميم مراعى قيود وخصائص وسط وإطار المستخدم. يتطلع هذا العمل إلى تقديم لبنة مساهمة لتصميم وتقييم أنظمة المراقبة الصحية مع الدعم الكامل للتحرك والتنقل هادفا إلى منح الحرية للمستخدمين وتحسين نوعية حياتهم.

الكلمات الدالة. المراقبة الصحية، الأجهزة القابلة للارتداء، شبكة اتصال لاسلكية الجسم (WBAN)، الرعاية الصحية الإلكترونية (e-Health)، الرعاية الصحية عبر الوسائط الجوال (m-health)، الشيخوخة، التنقلية

Abstract

Ageing of the world population with the increase of health costs have principally motivated the design of wearable health monitoring systems. The aim of these systems, in addition to decreasing health costs, is to enhance people's quality of life especially patients and elderly becoming more independent. In order to design an efficient wearable health monitoring system, some important parameters must be taken into account in the design process particularly the mobility support. This allows anywhere and anytime monitoring enabling instant detection of health abnormalities, predicting and preventing serious and critical health problems such as falls and allowing immediate reaction towards patients.

The aim of this work is to investigate main techniques and technologies enabling user's mobility in wearable health monitoring systems. For this, design requirements for key enabling mechanisms are pointed out, and a number of technological requirements and recommendations are presented. The whole is schematized and presented into the form of a design framework taking in consideration patient context constraints. This work aspires to bring a contribution brick for the conception and possibly evaluation of health monitoring systems with full support of mobility offering freedom to users while enhancing their life quality.

Keywords. Health monitoring, wearable devices, wireless body area network (WBAN), e-Health, m-health, ageing, mobility

Résumé

Le vieillissement de la population mondiale et l'augmentation des coûts de la santé ont principalement motivés la conception des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs. Le but de ces systèmes, en plus de réduire les coûts, est d'améliorer la qualité de vie des personnes notamment les patients et personnes âgées, devenant ainsi plus indépendants. Afin de concevoir un système de surveillance médicale à base de capteurs efficace, certains paramètres importants doivent être pris en considération lors du processus de conception, particulièrement le support de la mobilité. Celui-ci rend possible la surveillance partout et à tout moment permettant la détection instantanée d'anomalies de santé, la prédiction et prévention contre les problèmes sérieux et critiques de santé tel que les chutes, ainsi que permettant la réactivité immédiate envers les personnes surveillées.

Le but de ce travail est d'étudier les principales techniques et technologies permettant la mobilité de l'utilisateur dans les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs. Pour cela, les besoins conceptuels des mécanismes clés sont soulignés, et un nombre de besoins et recommandations technologiques sont présentés. Le tout est schématisé et présenté sous la forme d'un framework de conception prenant en considération les contraintes du contexte du patient. Ce travail aspire à apporter une brique de contribution pour la conception et éventuellement l'évaluation des systèmes de surveillance médicale avec un support total de mobilité offrant ainsi la liberté de mouvement aux utilisateurs tout en améliorant leur qualité de vie.

Mots clés. Surveillance médicale, appareils portables, réseau corporel sans fil (WBAN), cybersanté (e-Health), santé mobile (m-health), vieillissement, mobilité

Sommaire

Liste des Figures	v
Liste des Tableaux	vii
Abréviations	viii
Introduction générale	1
1 Systèmes de Surveillance Médicale à base de Capteurs : Fonctionnalités et implémentation	3
1.1 Introduction	4
1.2 Architecture opérationnelle	4
1.2.1 Avancées des technologies clés au profit des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs	4
1.3 Architecture réseau	6
1.3.1 Architecture typique trois-tiers BAN	6
1.3.1.1 Architecture générique adaptable	8
1.3.2 Fonctionnalités et Implémentation: Technologies and techniques	9
1.3.2.1 Au niveau de l'intra-BAN	9
1.3.2.2 Au niveau de l'inter-BAN	17
1.3.2.3 Au niveau du beyond-BAN	18
1.3.3 Fusion et analyse de données	19
1.4 Illustration d'implémentation de systèmes	20
1.4.1 Mobihealth system (MHS)	20
1.4.2 MobiHealthcare system	21
1.4.3 ViiCare	23
1.5 Conclusion	25
2 Aspects conceptuels de recherche dans les Systèmes de Surveillance Médicale à base de Capteurs	26
2.1 Introduction	27
2.2 Axes de recherche	27
2.3 Conclusion	35
3 Le support de la mobilité et son impact sur les Systèmes de Surveillance Médicale à base de Capteurs	36

3.1	Introduction	37
3.1.1	Types of mobilité	37
3.1.2	Périmètre (scope) de mobilité	38
3.1.3	Applications avec support de mobilité ciblées par notre étude	40
3.2	Mobilité non-restreinte: Spécificités et impact	40
3.2.1	Environnements (emplacements) environnants l'utilisateur	41
3.2.2	Environnements étudiés : Spécificités et différences	41
3.2.3	Technologies permettant le support de la mobilité à l'extérieur	42
3.2.4	Rappel sur les besoins et challenges relatifs au support d'une mobilité non-restreinte et les axes de recherche influencés	45
3.2.5	Les technologies avantageuses utilisées dans l'environnement à domicile	47
3.2.6	Mécanismes clés pour le support d'une mobilité non-restreinte de l'utilisateur	48
3.2.7	Rappel des axes de recherche relatifs au support de la mobilité intra-WBAN	52
3.2.8	Principales technologies et mécanismes pour le support de la mobilité Intra-WBAN	53
3.3	Conclusion	54
4	Framework de conception pour le support de la mobilité non-restreinte dans les Systèmes de Surveillance Médicale à base de Capteurs	55
4.1	Introduction	56
4.2	Architecture multi-couches	58
4.3	Contexte du patient: besoins conceptuels	63
4.3.1	Profile des données surveillées	64
4.3.2	Mobilité non-restreinte de l'utilisateur	66
	4.3.2.1 Recommandations : Besoins technologiques	66
	4.3.2.2 Mécanismes clés : Besoins conceptuels	73
4.4	Schématisation du framework de conception et discussion	78
4.5	Conclusion et travaux futurs	80
	Conclusion générale	81
	Publications et communications	83
	Références	84

Liste des Figures

1. Méthodologie suivie lors de l'étude	2
2. Représentation de l'architecture trois-tiers BAN dans la supervision de la santé	7
3. Représentation de l'architecture générique trois-tiers BAN utilisant l'informatique mobile	7
4. Architecture fonctionnelle de la plate-forme de service de Mobihealth	20
5. Illustration d'un système M-health basé sur les réseaux corporels	22
6. Système ViiCare	23
7. Axes de recherche pour la conception des WHMS	27
8. Exemples de technologies et techniques permettant le support de la mobilité dans les systèmes de surveillance médicale	37
9. Types de mobilité dans les systèmes de surveillance médicale	37
10. Classification des applications de surveillance médicale basée sur le périmètre de mobilité	38
11. Emplacements de l'utilisateur étudiés	41
12. Technologies permettant le support de la mobilité à l'extérieur	42
13. Axes de recherche influencés par la mobilité	45
14. Illustration de quelques challenges relatifs au support de la mobilité dans les WHMS	47
15. Avantages de l'environnement à domicile en termes de technologies	48
16. Composition du framework de conception	57
17. Eléments du framework de conception proposé	57
18. Architecture opérationnelle trois-tiers	58

19. Schéma de composition de l'architecture proposée	59
20. Blocks de construction vs couches de conception	60
21. Architecture trois-tiers opérationnelle globale	61
22. Eléments du contexte du patient	63
23. Relation entre le contexte du patient et les techniques et technologies pour le support de la mobilité	63
24. Contraintes du contexte global	64
25. Relation entre les contraintes des contextes et les techniques et technologies pour le support de la mobilité	64
26. Contraintes du profile de données	65
27. Domaines de recommandations technologiques du framework de conception	67
28. Mécanismes clés du framework de conception	73
29. Projection des besoins conceptuels sur les couches de conception	78
30. Le support de la mobilité dans les WHMS	79

Liste des Tableaux

1. Capteurs portables et mobiles typiques	11
2. Capteurs ambiants typiques	11
3. Paramètres vitaux typiques pouvant être évalués	11
4. Standards populaires pour la communication de courte portée et leurs propriétés	12
5. Comparaison des propriétés de Bluetooth et Bluetooth LE	14
6. Comparaison entre les topologies en étoile et en mesh	16
7. Aspects d'implémentation des systèmes décrits	24
8. Classification des projets de surveillance médicale à base de capteurs sur la base du périmètre de mobilité	39
9. Recommandations vs profile des données et localisation	72
10. Mécanismes clés vs profile des données et tiers	76

Abréviations

AES	Advanced Encryption Standard
AP	Access Point
ASN	Ambient Sensor Network
BAN	Body Area Network
BASN	Body Area Sensor Network
BCU	Body Control Unit
BLE	Bluetooth Low Energy
BP	Blood Pressure
BS	Base station
BSN	Body Sensor Network
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
DTN	Delay-Tolerant (Disruption-Tolerant) Networking
ECG	ElectroCardioGram
EMR	Electronic Medical Record
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IrDA	Infrared Data Association
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LAI	Location Area Identity
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MBU	Mobile Base Unit
MD-SMAC	Mobility-aware, Delay-sensitive Sensor MAC
OSI	Open Systems Interconnection
PC	Personal Computer

PD	Personal Device
PDA	Personal Digital Assistant
PIR	Passive Infrared Sensor
PPG	PhotoPlethysmoGram
PS	Personal Server
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identification
RSS	Received Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indication
SMAC	Sensor MAC
SMS	Short Message Service
TA	Tension artérielle
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UWB	Ultra-Wide Band
WAN	Wide Area Network
WBAN	Wireless Body Area Network
WHMS	Wearable Health Monitoring System
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WMSN	Wireless Multimedia Sensor Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WSN	Wireless Sensor Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
XML	eXtensible Markup Language

Introduction générale

Le vieillissement de la population mondiale couplé à l'accroissement des coûts de la santé ont principalement motivés la conception de systèmes de surveillance médicale à base de capteurs. Le but de ces systèmes, en plus de réduire les coûts, est d'améliorer la qualité de vie des personnes devenant ainsi plus indépendants, particulièrement les patients et personnes âgées. Afin de concevoir un système de surveillance médicale efficace, certains paramètres importants doivent être pris en considération dans le processus de conception, en particulier le support de la mobilité. Cette dernière rend possible la surveillance partout et à tout moment permettant ainsi la détection instantanée d'anomalies de santé, la prédiction et prévention de problèmes sérieux et critiques de santé tel que les chutes, ainsi que permettant la réactivité immédiate des entités concernées envers les personnes surveillées.

Le but de ce travail est d'étudier les principales techniques et technologies utilisées dans les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs et qui permettent la mobilité des utilisateurs, soulignant les besoins de conception des mécanismes clés rendant possible cette fonctionnalité, ainsi que des besoins et un nombre de recommandations technologiques; le tout, prenant en compte les contraintes du contexte du patient, est schématisé et présenté sous la forme d'un framework de conception.

Nous aspirons à travers ce travail d'apporter une contribution active pour la conception et évaluation des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs supportant une mobilité complète, offrant ainsi la liberté aux utilisateurs tout en contribuant à améliorer leur qualité de vie.

Pour cela, nous commençons d'abord par introduire une architecture multi-couches basée sur l'architecture populaire trois-tiers, dans le but de couvrir les aspects majeurs de conception impliqués dans les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs. Cette architecture servira comme base à notre framework de conception.

En second lieu, nous étudions un certain nombre d'éléments pertinents du contexte du patient i.e. le profil de données et l'emplacement du patient, et extrayons les différentes contraintes contextuelles influençant sur les moyens de support de la mobilité. Les principales techniques et technologies pour le support de la mobilité de l'utilisateur sont aussi définies sous la forme de besoins et recommandations

technologiques et besoins conceptuels des mécanismes clés. Les éléments du framework de conception devront aussi prendre en considération d'autres contraintes du contexte globale relatives aux systèmes de surveillance médicale à savoir la sécurité, la consommation d'énergie et l'abordabilité de ces systèmes.

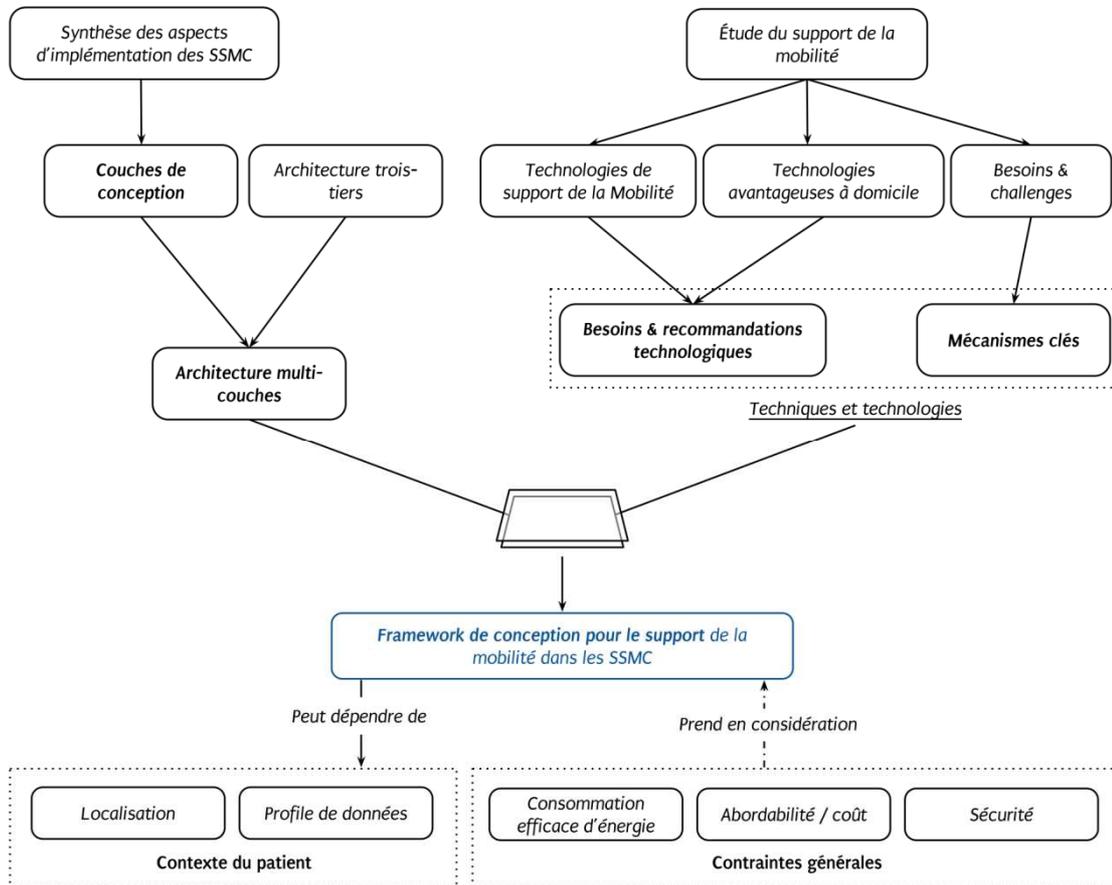


Fig. 1. Méthodologie suivie lors de l'étude

Les techniques et technologies pour le support de la mobilité sont corrélées avec les différentes contraintes définies puis superposées sur l'architecture multi-couches, formant ainsi la proposition du framework de conception.

Le premier chapitre présente une vue d'ensemble sur les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs en termes d'implémentation et axes de recherche, pouvant ainsi servir comme référence pour les chercheurs. Le deuxième chapitre étudie le support de la mobilité dans les systèmes traités. Enfin, le troisième chapitre décrit la proposition du framework de conception à travers les étapes précédemment mentionnées.

CHAPITRE 1

Systemes de Surveillance Médicale à base de Capteurs : Fonctionnalités et implémentation

1.1 Introduction

Les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs (Wearable Health Monitoring Systems – WHMS) sont utilisés dans différentes applications médicales, pour lesquelles diverses systèmes et prototypes ont été développés à ce jour, telles que la surveillance quotidienne des patients à domicile, à l'hôpital ou à l'extérieur, la surveillance des patients au niveau des urgences ou encore la surveillance des victimes sur les lieux d'une catastrophe.

En tout et indépendamment de l'application ciblée, un système de surveillance médicale est typiquement bâti sur trois principaux blocks [1] représentant la base permettant à de tels systèmes d'opérer. Ces derniers sont décrits ici en tant qu'architecture opérationnelle, sur laquelle cette étude est d'une part basée. Par ailleurs, dans le but d'englober les aspects majeurs de conception et d'implémentation de tels systèmes de surveillance, cette étude est de plus basée sur l'architecture trois-tiers BAN [2, 3] considérée comme un modèle complet [4], décrivant les segments réseaux et principaux composants généralement impliqués. Ce modèle pouvant être adapté en diverses variantes selon les besoins spécifiques et exigences, peut ainsi refléter les principales architectures possibles des systèmes de surveillance comme cela sera décrit à travers des exemples plus loin dans ce chapitre.

1.2 Architecture Opérationnelle

D'un point de vue opérationnel, trois principales fonctionnalités permettant les WHMS d'opérer peuvent être distinguées, à savoir la collecte de données, la communication, et l'analyses des données. Ces derniers aussi connues sous le nom de building blocks (blocks de construction) pouvant être considéré comme sous-systèmes, sont décrits comme suit [1]:

1. *Sous-système physique.* Composé d'un ensemble d'appareils et dispositifs de collecte de données dont le but est de collecter les données physiologiques ainsi que contextuelles.
2. *Sous-système intelligent.* En charge de l'interprétation des paramètres collectés à l'aide de techniques d'analyses de données, dont le but est d'extraire de l'information cliniquement pertinente à partir des données collectées.
3. *Sous-système de communication.* Tout matériel et logiciels permettant de partager et relayer l'information entre les deux premiers sous-systèmes décrits.

1.2.1 Avancées des technologies clés au profit des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs

Les avancées technologiques récentes comprenant entre autres les trois sous-systèmes précédemment décrits, en terme de microélectronique, technologies de capteurs, télécommunication et techniques d'analyses de données, ont permis le développement et déploiement des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs.

Les progrès en microélectroniques ont permis la miniaturisation des capteurs et l'intégration des différents composants en un seul circuit intégré comprenant des capacités de collecte de données, l'amplification, des microprocesseurs et la transmission radio, ce qui joue un rôle clé dans le développement des systèmes à base de capteurs et le port de ces derniers en tant qu'accessoires; d'autre part, d'autres systèmes basés sur la technologie e-textile ont aussi émergés avec les progrès en terme de sciences des matériaux permettant l'intégration des capacités de collecte sur des vêtements. Les progrès en terme de technologie des systèmes micro-électromécaniques (MEMS - MicroElectroMechanical Systems) a aussi permis la miniaturisation des capteurs inertiels utilisés dans la surveillance médicale et l'activité motrice.

Du point de vue communication, d'énormes progrès dans le développement des standards de communication sans fil à faible consommation ont été observés durant les dernières années telles que 802.15.4/Zigbee et Bluetooth Low Energy. Le standard IEEE 802.15.4a basé sur UWB (Ultra-Wide-Band) par exemple peut rendre possible la conception d'applications à base de réseaux de capteurs à faible coût et consommation mais avec des hauts débits de données. De plus et toujours dans une perspective de faible consommation d'énergie, les chercheurs donnent beaucoup d'attention aux techniques de récolte d'énergie (energy harvesting, power scavenging) ; ces derniers consistent à obtenir de l'énergie à partir de sources externes telles que l'énergie éolienne, solaire ou cinétique, ouvrant ainsi la voie à la résolution du problème d'énergie limitée des capteurs.

La communication entre les réseaux de capteurs et les sites distants tel que l'envoi des données physiologique récoltées pour des analyses cliniques au niveau des serveurs de l'hôpital, peut être réalisée via des passerelles d'information tels que des ordinateurs personnels ou téléphones mobiles particulièrement les Smartphones conçus pour être utilisés partout et à tout moment, et étant largement disponibles de nos jours.

En effet, l'impact des téléphones mobiles sur la surveillance médicale est considérable et les applications reposant sur de telles technologies sont de plus en plus populaires. Les plateformes mobiles supportent la surveillance continue, en temps réel, partout et à tout moment, permettant une détection précoce des anomalies relatives à la santé de la personne surveillée. Plus particulièrement, les Smartphones qui, en plus de leur capacité à transmettre les données vers des sites distants à travers leur connectivité étendue, sont aussi capable de stocker les données localement. En outre, ils peuvent être utilisés pour le traitement de l'information, grâce à la puissance considérable de calcul qu'ils offrent, malgré leur dimensionnement, tout cela en faveur d'une surveillance ubiquitaire. Par ailleurs, la capacité de localisation à travers le GPS intégré ou encore via les réseaux cellulaires, permet le suivi des personnes en besoin, comme dans le cas d'une urgence par exemple ; alors que la capacité de stockage offerte permet de sauvegarder localement les données collectées (à noter que les Smartphones offrent aussi des capteurs intégrés tels que les accéléromètres à partir desquels les données peuvent aussi être collectées [1]) et destinées aux sites distants, ce qui s'avère intéressant notamment dans le cas d'une connectivité intermittente.

D'autre part, le stockage et traitement dans le Cloud devenant de plus en plus populaires et communs, peuvent rendre les systèmes de surveillance médicale plus indépendants aux plateformes, à plus faible coût, ainsi que plus facile et plus rapide au déploiement et mise à jour. De plus, dans le cas où les calculs et traitements deviennent basés sur le Cloud, les dispositifs de surveillance deviennent plus simples et moins coûteux, permettant l'utilisation de dispositifs plus standards ainsi que l'accès à des applications personnalisées dans le Cloud.

Toujours du point de vue communication, la connectivité dans beaucoup de pays est devenue presque universelle. Dans les systèmes de surveillance à domicile par exemple, les données collectées peuvent être recueillies à l'aide d'un ordinateur personnel puis transmises aux serveurs distants à travers Internet. Tandis qu'à l'extérieur, les progrès en terme standards de télécommunication mobile tels que la 3G/4G vont de plus en plus en faveur de la surveillance continue pervasive en environnement extérieur.

Enfin, les techniques d'analyse des données tels que la reconnaissance des formes, l'exploration des données (Data mining) ou les méthodologies basées sur l'intelligence artificielle, ont rendu possible aux systèmes de surveillance médicale d'extraire de l'information cliniquement pertinente à partir des diverses données collectées [1, 5, 6, 7, 8, 9].

1.3 Architecture réseau

D'un point de vue réseau, l'architecture générique des systèmes de surveillance médicale peut être schématisée par la représentation typique trois-tiers considérée comme modèle complet [4]. Celle-ci peut être décrite comme suit:

1.3.1 Architecture typique trois-tiers BAN¹

Au niveau communication, l'architecture générique (voir Fig. 1 et 2) est représentée par le réseau typique trois-tiers BAN (Body Area Network pour Réseau de capteurs corporels) composée de l'intra-BAN, l'inter-BAN et le beyond-BAN² [2], alors qu'au niveau composants, l'architecture est représentée par les trois principales parties permettant le fonctionnement du système, à savoir les nœuds capteurs, la station de base et le(s) serveur(s) distant(s) [4]. Ces trois composants aussi appelés couches (layers) [4] ou niveaux (levels) [10] représentent les principaux éléments pour le traitement des données et l'échange de communication au sein des segments BAN. L'idée essentielle de la représentation trois-tiers est l'utilisation de n'importe quelle approche de communication sans fil existante afin de permettre la coopération entre ses trois composants [4].

¹ Généralement, le BAN (ou BSN / BASN [19]) est constitué d'un ensemble de capteurs de différents types, plus la station de base (présentée et décrite plus bas). Généralement, on parle de WBAN (Wireless BAN pour BAN sans fil) vu que les communications sans fil sont les plus communément utilisées [23]. De ce fait, cette étude porte sur ce dernier.

² Beyond : au-delà.

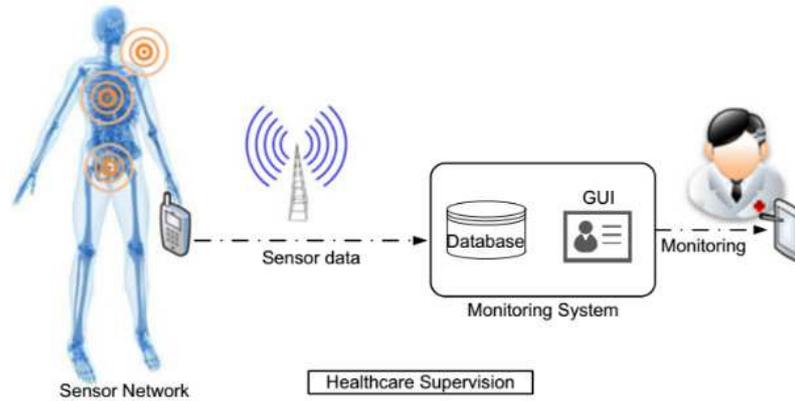


Fig. 2. Représentation de l'architecture trois-tiers BAN dans la supervision de la santé [1]

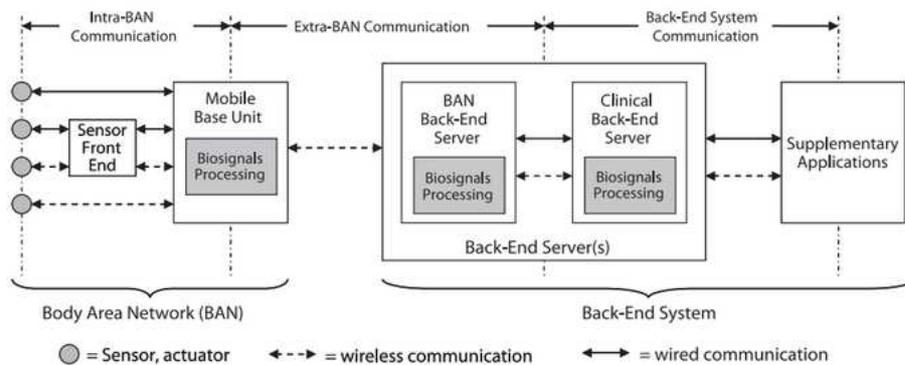


Fig. 3. Représentation de l'architecture générique trois-tiers BAN utilisant l'informatique mobile [3]

Il est à noter que la station de base est le portail communicant vers l'inter-BAN où cette dernière peut être aussi considérée comme partiellement impliquée.

Les segments BAN ainsi que les principaux composants impliqués sont brièvement décrits comme suit:

1. *Intra-BAN*. Les communications au sein du BAN -pouvant être filaire, sans fil ou la combinaison des deux- sont de deux types, un premier entre capteurs, et un deuxième entre les capteurs et la station de base³ aussi appelée MBU (pour Mobile Base Unit / Unité de base mobile) dans le cas où il est question d'informatique mobile (mobile computing). Cette dernière est chargée de recueillir toutes les informations collectées par les capteurs (rôle du puits / sink⁴) et éventuellement les sauvegarder, elle peut aussi traiter ces informations et fournir par exemple un feedback (information de retour) ou initier des alertes d'urgence, et peut aussi jouer le rôle de passerelle d'information. Si

³ Aussi connue sous le nom de Body Gateway (Portail corporel), Personal Server or device / PS/PD (Serveur ou dispositif personnel), Body Control Unit / BCU (Unité de contrôle corporel) ou Central Node (Nœud central) [2, 47].

⁴ Dans certaines architectures, le puits et la station de base sont considérés comme deux éléments différents [20].

celle-ci est plus intelligente, elle peut être utilisée dans certains cas comme source de conseils médicaux.

Les capteurs peuvent être des dispositifs de capture (collecte) ou des actionneurs. Certains capteurs peuvent communiquer directement avec la station de base, alors que d'autres peuvent nécessiter un SFE (Sensor Front-End⁵), un dispositif intermédiaire d'acquisition de données connecté à la station de base [2, 3, 4, 11].

2. *Inter-BAN*. Au niveau de l'inter-BAN, aussi appelé extra-BAN [3], les informations collectées par la station de base sont communiquées au beyond-BAN soit directement, ou bien à travers un ou plusieurs points d'accès et/ou relais par l'intermédiaire de réseaux facilement accessibles tels que les réseaux cellulaires ou Internet [2].

3. *Beyond-BAN*. La connexion avec le beyond-BAN est établie à travers une passerelle d'information permettant l'accès à distance des professionnels de la santé autorisés aux données médicales du patient, et ce par l'intermédiaire d'Internet et des réseaux cellulaires. Ainsi, le beyond-BAN aussi appelé Back-End System, peut comprendre un ou plusieurs serveurs distants (éventuellement un en local) pour le stockage et le traitement des différentes données collectées. Le beyond-BAN peut aussi fournir des applications pour la consultation ou la génération d'alertes d'urgence. Par conséquent, plusieurs patients peuvent être desservis par un seul Back-End system [2, 3].

1.3.1.1 Architecture générique adaptable

Selon l'application cible, l'architecture trois-tiers précédemment présentée, peut être adaptée par les concepteurs de systèmes [4] ; Ceci peut être à titre d'exemple illustré par la différence entre deux des principales applications des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs, à savoir le biofeedback et la surveillance à distance [12]. A la différence de la dernière, pour laquelle l'architecture décrite précédemment est bien adaptée, le biofeedback est quelque peu différent ; en effet, le biofeedback fait référence à la prise de mesure de l'activité physiologique d'une personne avec retour à cette dernière lui permettant d'apprendre à contrôler et modifier son activité dans le but d'améliorer sa santé [12]. Dans ce type d'application, le Back-End system n'est plus obligatoire mais reste tout de même applicable ; ainsi, le système peut être satisfait d'un point de vue communication avec seulement le premier segment i.e. l'intra-BAN, alors que d'un point de vue composants les deux premiers tiers i.e. les capteurs et la station de base suffisent. Cette architecture adaptée peut être aussi appliquée dans le cas où la surveillance en temps réel n'est pas nécessaire; les données collectées sont alors stocker sur la station de base au lieu d'être transmises en temps réel au beyond-BAN, diminuant ainsi les coûts [4].

Par ailleurs, dans le cas où le stockage et l'analyse des données physiologiques ne sont pas nécessaires mais que les situations d'urgences doivent être gérées, l'architecture serait composée des trois segments sans toutefois inclure les serveurs centraux, puisqu'étant non nécessaires dans ce cas. Cependant, dans un tel scénario, il est

⁵ Utilisé pour numériser et filtrer les données brutes avant qu'ils ne soient transmises au MBU [3, 11].

impératif que l'inter-BAN puisse atteindre directement les points de contact d'urgence tels que les services d'urgence et la famille de la personne surveillée.

L'espace de déplacement de la personne lors de la surveillance est un autre exemple où l'adaptation de l'architecture trois-tiers est applicable. Dans le cas où le système est restreint en termes d'espace de déplacement, la station de base peut être non nécessaire comme dans un hôpital où les données collectées peuvent être directement transmises par l'intermédiaire de relais vers le serveur central se trouvant sur le site de l'hôpital. Il est à noter que certains systèmes peuvent être conçus pour supporter et prendre avantage des plusieurs scénarios tel que la surveillance en espace intérieur et extérieur [4].

1.3.2 Fonctionnalités et Implémentation: Technologies and techniques

Différentes techniques and technologies sont utilisés pour l'implémentation de l'architecture trois-tiers BAN comprenant les principaux blocks précédemment décrits. Les majeurs techniques et technologies peuvent être synthétisées comme suit:

1.3.2.1 Au niveau de l'intra-BAN

Les capteurs jouent un rôle primaire dans le support des systèmes de surveillance médicale. En effet, ces derniers, responsables de la collecte des données physiologiques et autres, sont la source de détection de l'état médical de la personne surveillée, et plus il y a de capteurs, plus l'information obtenue est complète et donc la détection est plus efficace [6].

Les capteurs placés près, sur ou dans le corps [2] et déployés suivant l'application clinique cible [1], peuvent être de différentes formes, tel que des dispositifs portables (i.e. wearable, qui se portent, comme sur la poitrine, le poignet, l'oreille, le doigt, ...) ou intégrés dans les vêtements de la personne ce qui promet une surveillance non-invasive, et est connu sous le nom de smart textiles ou e-textiles [13, 14] (ex. Lifeshirt [15]). Une synthèse sur les possibilités de positionnement des capteurs est donnée dans [8].

Généralement, les capteurs utilisés dans la surveillance médicale sont de deux types [1, 2, 16];

1. *Capteurs corporels (Body sensors)* pouvant être soit des; (a) capteurs physiologiques mesurant les signes vitaux du corps humain i.e. des capteurs en charge de collecter et mesurer les paramètres corporels humains en interne et en externe (ex. température corporel, pression du sang, électrocardiogramme ECG); ou (b) capteurs biocinétiques (Biokinetic sensors) en charge de collecter les signaux basés sur les mouvements du corps comme l'accélération, vitesse angulaire de rotation, ...etc.;

2. *Capteurs ambiants (Ambient sensors)* en charge de la surveillance de l'environnement de la personne (ex. température ambiante, pression de l'environnement, luminosité ou humidité).

Bien que les capteurs ambiants puissent être optionnels, les données qu'ils fournissent sont importantes. Combinés aux capteurs corporels, qui est souvent le cas dans un environnement domestique ; ces derniers fournissent des informations complémentaires

précieuses pour le diagnostic et traitement médicaux. Les informations par exemple collectées à partir des capteurs corporels peuvent être augmentées par ceux collectées à partir des capteurs ambiants comme augmenter l'accéléromètre avec des capteurs de mouvement déployés autour de la maison, dans le but de déterminer le type d'activité et son intensité. Les capteurs ambiants peuvent aussi être utiles dans le cas où la personne ne porte pas ses capteurs corporels pour la détection de chute par exemple [1, 17].

Dans [18], il est noté que la surveillance de plusieurs signaux biologiques à la fois en temps réel peut être réalisée à l'aide de dispositifs médicaux sans fil commerciales, intégrant différents biocapteurs dans un seul système sans fil ; le bracelet portable "FIT system" en est un exemple, comportant un accéléromètre 3D et des capteurs de température, de sueur et de chaleur. Le terme capteur peut aussi faire référence au dispositif de capture comme cela est décrit dans [19] par exemple, comportant une plateforme radio avec processeur, mémoire, modules RF et capteurs de signaux (module capteur) connectés à celui-ci.

Un autre type de dispositifs généralement utilisé en fonction de l'application cible, est l'actionneur⁶, pouvant être utilisé pour l'administration de médicaments sur la base des informations analysées ou encore à travers l'interaction de l'utilisateur; une pompe d'insuline peut être par exemple utilisée en corrélation avec un capteur mesurant le taux de glucose dans le but de satisfaire le besoin du patient en insuline [2, 16].

Les tableaux 1 and 2 présentent une liste typique des capteurs portables, mobiles et ambiants, alors que le tableau 3 d'un point de vue inverse, présente une liste typique des paramètres vitaux pouvant être évalués [8, 13]. Il est à noter que certains capteurs peuvent comporter des électrodes humides ou sèches. La version humide a été par exemple utilisée dans les capteurs ECG, toutefois, vu que ce type d'électrodes peut causer une dégradation du signal et même une irritation de la peau du porteur, l'alternative des électrodes sèches est devenue populaire malgré qu'elles soient plus sensibles aux conditions de la peau et plus susceptibles aux artefacts [20].

Par ailleurs, les nouvelles techniques, technologies et méthodes de capture et collecte de données, donnent naissance à des biocapteurs moins invasives, tel que "Gluowatch", un dispositif portable de capture et détection du glucose remplaçant les dispositifs traditionnels à base d'aiguille; celui-ci utilise un procédé pour extraire les molécules de glucose du corps, ce qui permet de lire le niveau de glucose à travers une méthode moins invasive [21].

Les auteurs de [18] ont présenté une gamme de biocapteurs avec des exemples de dispositifs et systèmes médicaux sans fil commercialement disponibles, puis ont discuté les efforts de recherche actuels dans le domaine.

⁶ Cependant, cette étude n'inclut pas les actionneurs mais porte plutôt sur les dispositifs de collecte (capture) de données.

Capteur	Mesure	Débit
Accéléromètre	Accélération	Elevé
Gyroscope	Orientation	Elevé
Glucomètre	Blood Glucose	Elevé
Pression	Blood Pressure	Faible
Gaz CO2	Respiration	Très faible
ECG (Électrocardiographie)	Activité Cardiaque	Elevé
EEG (Électroencéphalographie)	Activité du cerveau	Elevé
EMG (Électromyographie)	Activité du muscle	Très Elevé
EOG (Électro-oculographie)	Mouvement des yeux	Très Elevé
Oxymètre de pouls	Saturation d'oxygène dans le sang	Faible
GSR (réponse galvanique de la peau)	Perspiration	Très faible
Chaleur	Température corporel	Très faible

Tableau 1. Capteurs portables et mobiles typiques

Capteur	Mesure	Format de données
PIR	Mouvement	Par catégorie
infrarouge actif	Mouvement/Identification	Par catégorie
RFID	Information sur un objet	Par catégorie
Pression	Pression	Numérique
Carrelage intelligent	Pression sur le plancher	Numérique
Interrupteurs magnétiques	Porte/Cabinet Ouvert/fermé	Par catégorie
Ultrasonique	Mouvement	Numérique
Caméra	Activité	Image
Microphone	Activité	Son

Tableau 2. Capteurs ambiants typiques

Types des signes vitaux	Type de capteur	Source du signal
Electromyogramme (EMG)	Electrodes cutanées	Activité électrique du muscle
Electroencéphalogramme (EEG)	Electrodes sur cuir chevelu	Activité électrique du cerveau, potentiel du cerveau
Activité, mouvement, chute	Accéléromètre	Geste & posture / mouvements des membres
Taux de respiration	Piézoélectrique/capteur piézorésistif	Inspiration et expiration par unité de temps
Sons cardiaques	Phonographe	Enregistrement sons cardiaques avec microphone
Glycémie	Glucomètre	Évaluation de la quantité de glucose dans le sang
Saturation en oxygène	Oxymètre de pouls	Oxyhémoglobine dans le sang
Température du corps (peau)	Sonde de température ou patch peau	Corps ou peau
Réponse galvanique de la peau	Électrodes métalliques tissées	Conductivité électrique de la peau

Tableau 3. Paramètres vitaux typiques pouvant être évalués

En parallèle aux dispositifs spécialisés en collecte (capture) de données, il est à noter que d'autres moyens peuvent être utilisés comme source d'information pertinente en relation avec l'état de santé de l'utilisateur. Les Smartphones par exemple peuvent à l'aide d'applications adéquates, utiliser leur fonctionnalités courantes pour la

surveillance, tel que la capture ou enregistrement sonore afin de détecter certaines activités spéciales⁷ comme le fait de pleurer par exemple [22].

Dans [14] à titre d'exemple aussi, les auteurs ont proposé un mécanisme pour recueillir de l'information à partir de l'utilisateur concernant certains symptômes non mesurables tel que maux de têtes, toux, malaise, douleur de la poitrine, ...etc. Ces symptômes additionnels recueillis grâce aux technologies de dialogue automatisées et de reconnaissance vocale, peuvent considérablement améliorer la capacité décisionnelle du système.

Les capteurs peuvent être programmables ; ceci implique l'utilisation de systèmes d'exploitation intégrés comme TinyOS [4]. Dans [13, 19], il est rapporté que la combinaison de TinyOS avec l'interface radio IEEE 802.15.4 (Zigbee) a été largement adoptée dans les capteurs.

Du point de vue communication, celle-ci en étant sans fil au niveau des capteurs, contribue à leur portabilité [20], alors que la collaboration de chaque capteur dans la propagation des données et la participation au transfert des paquets contribuent à l'amélioration de la fiabilité de livraison des messages [23, 24]. Il est rapporté dans [25] qu'une investigation sur l'impact des architectures à saut unique et à multi-sauts a conclu qu'une conception d'architecture à multi-sauts était plus efficace en termes de fiabilité de transmission en comparaison à une architecture à saut unique, selon bien sûr le nombre de capteurs et leur déploiement.

La communication sans fil entre capteurs ainsi que celle entre la station de base et les capteurs peut s'appuyer sur divers standards 802.15 ; Les plus populaires et communément utilisés sont le 802.15.1 (Bluetooth) et 802.15.4 (principalement Zigbee) ; Le Tableau 4 présente les principales propriétés de ces derniers. D'autres technologies de communication sans fil pouvant être utilisées comprennent WiMedia/UWB pour Ultra Wideband (802.15.3, avec un débit maximal de 480 Mb/s et moins de 10 m comme portée), ANT (avec 1 Mb/s de débit), MICS pour Medical Implant Communication Service, et d'autres radio personnalisées. La technologie irDA d'autre part, est rapportée comme étant impraticable dans les systèmes de surveillance médicale, principalement à cause de son besoin de communiquer en ligne de mire [4, 13, 23, 26, 27, 28].

	IEEE 802.15.1 Bluetooth	IEEE 802.15.4 ZigBee
Bande de fréquence radio	2.4 Ghz	2.4 Ghz / 915 et 868 MHz pour certaines versions
Débit	1-3 Mb/s	250Kb / 40Kb et 20Kb/s
Portée	10-100 mètres	10-30 mètres
Taille du réseau	8	65535

⁷ Appelé détection d'activité vocale (VAD, Voice Activity Detection).

Complexité du protocole	Elevée	Simple
Sécurité	56 à 128 bit E0	128-bit AES
Consommation d'énergie	200mW (National LMX9820A)	60-70mW (Chipcon CC2420)
Notes	-	Zigbee inclut des spécifications additionnelles du réseau, de sécurité, et de la couche application en plus du standard IEEE 802.15.4 officiel

Tableau 4. Standards populaires pour la communication de courte portée et leurs propriétés

Bluetooth, populaire en communication courte portée, possède un très bon mécanisme de communication. Cependant, ne répondant pas complètement aux besoins des réseaux corporels, particulièrement en termes de consommation d'énergie, Bluetooth est considéré comme n'étant pas très praticable pour de tels réseaux [24, 29].

D'autre part, Zigbee est aussi utilisé dans beaucoup d'applications BAN en raison de ses avantages en termes de consommation d'énergie, de coût, de support de diverses topologies réseaux, et de support de sécurité à 128-bits pour l'authentification et la garantie de l'intégrité et confidentialité des messages. Toutefois, il est à noter que les applications ciblées par le standard Zigbee sont celles ayant un besoin en terme de longue durée de vie de batterie et de sécurité réseau mais un besoin faible en terme de débit. Beaucoup d'études prétendent que le standard IEEE 802.15.4 est le meilleur choix pour les applications WBAN, non seulement considérant la gestion d'énergie, mais aussi l'architecture réseau, le périmètre de couverture et le trafic de données [4, 24, 27].

Cependant, avec l'émergence de la nouvelle version de Bluetooth i.e. BLE pour Bluetooth Low Energy (voir Tableau 5), ciblant différents domaines et applications tels que le sport/fitness, la santé ou le divertissement domestique, celle-ci pourrait prendre le dessus en résolvant les lacunes du IEEE 802.15.1 en terme de consommation d'énergie. De plus, BLE offre d'autres avantages dont le faible coût, l'interopérabilité, une portée élargie, la robustesse contre les interférences, la sécurité et même le support d'une topologie proche du mesh. Les Smartphones tels que iPhone à partir de sa version 4S, intègrent déjà la dernière technologie Bluetooth, concurrente de Zigbee, sachant que l'un des avantages de Bluetooth en général est sa large compatibilité et son intégration sur la plupart des téléphones mobiles, PDA's et ordinateurs portables; ces derniers offrant un déploiement rapide et facile, s'ils sont utilisés comme station de base [4, 7, 27, 28, 30].

IEEE 802.15.6, un standard récemment réalisé, est le premier standard international WBAN desservant diverses applications médicales et non médicales et supportant les communications à l'intérieur et autour du corps humain. Le standard 802.15.6 prend en considération les mouvements du corps et atteint des débits allant jusqu'à 10 Mb/s tout en étant extrêmement faible en consommation [12, 31]. Cependant, dans [32] une des premières évaluations des performances d'IEEE 802.15.6, les auteurs ont conclu que

l'utilisation de 802.15.4 peut être dans certains cas plus appropriée selon les besoins de l'application [32].

Par ailleurs, selon une étude [33] réalisée autour des technologies de communication utilisées et leur relation avec la densité et la livraison, il s'est avéré que les projets avec peu de trafic de collecte de données ou une faible fréquence de livraison (de l'ordre de secondes ou minutes) peuvent utiliser au sein de l'intra-BAN les technologies à faible bande passante avec moins de consommation d'énergie et moins de perte de paquets, tels que ANT, Zigbee ou la bande ISM (propriétaire) ; toutefois, l'étude rapporte que certains projets avec les mêmes besoins, utilisent, pour des raisons de compatibilité ou de coût, des technologies plus populaires même ayant une consommation plus élevée en énergie tels que Bluetooth ou WiFi. Alors que les projets avec un trafic plus élevé de collecte de données ou une plus grande fréquence de livraison nécessitent l'utilisation de plus de bande passante et donc des technologies de communication plus gourmandes en consommation d'énergie, le plus souvent WiFi, Bluetooth ou même des technologies filaires. Enfin, l'étude souligne toutefois que certains systèmes bien que traitant un trafic de données élevé, utilise le standard IEEE 802.15.4 pour des raisons de consommation d'énergie et d'optimisation des dispositifs portables et leurs batteries ; pour cela, un faible pourcentage de perte de paquets est supposé dans de tels systèmes, alors que les restrictions en bande passante sont compensées par la conception minutieuse des divers protocoles de communication.

	Bluetooth	Bluetooth Low Energy
Bande de fréquence radio	2.4 Ghz	2.4 Ghz
Débit	1-3 Mb/s	1 Mb/s
Portée	10 - 100 mètres	10 - 100+ mètres
Taille du réseau	8	Illimité
Temps de latence (de l'état non connecté jusqu'à la donnée collectée)	100 ms	< 6 ms
Sécurité	56 à 128 bit E0	128-bit AES
Consommation d'énergie	1 (valeur de référence)	0.01 to 0.5 (dépend du cas d'utilisation)
Cas d'utilisation	Téléphone mobiles, oreillette, automobile, ...etc.	Téléphone mobiles, sports et fitness, médical, automobile, électroniques domestique, ...etc.

Tableau 5. Comparaison des propriétés de Bluetooth et Bluetooth LE

D'un point de vue traitement sur nœud (ou traitement sur capteur), si celui-ci est nécessaire comme pour l'amélioration du signal, la reconnaissance d'activité, ...etc., des

techniques efficaces doivent être utilisées pour faire face aux ressources de calcul des capteurs généralement limitées [13, 34].

Les informations recueillies par les différents capteurs, brutes ou après traitement bas niveau sont transmises à la station de base ; cette dernière peut effectuer des traitements supplémentaires et jouer le rôle de passerelle de communication vers le beyond-BAN [4, 11]. Cependant, les fonctionnalités de la station de base sont en réalité plus importantes ; la station de base en plus de recueillir les données collectées par les capteurs, est responsable de la synchronisation des communications et peut être utilisée pour vérifier l'état des capteurs ainsi que configurer les paramètres de ces derniers tels que la précision ou la fréquence d'échantillonnage à l'aide de signaux de contrôle. La station de base peut effectuer des traitements et analyses⁸ avancés sur les données tels que l'extraction d'information et en tirer des conclusions comme la détection de situations anormales du patient en comparant les informations extraites à des modèles ou seuils prédéfinis. A noter que la station de base à travers le traitement en local simplifie le déploiement du système et aide à réduire les coûts en communication. En outre, la station de base peut exposer aux utilisateurs des informations pertinentes en temps réel et même générer des alertes aux différents acteurs du système. Les différentes données recueillies par la station de base avec ou sans traitement peuvent être transférées en temps réel ou rapportés ultérieurement aux serveurs distants ou directement aux professionnels de la santé [4, 14]. La station de base peut basculer entre différents modes de transmission prenant en considération des paramètres tels que la disponibilité des réseaux et le coût. Selon que l'utilisateur soit à l'extérieur ou chez soi par exemple, la station de base peut basculer entre une transmission périodique des données collectées ou une transmission immédiate des données d'urgence [3].

Le contexte et la localisation sont deux autres aspects importants relatifs à la station de base. Dans [23], il est rapporté que le traitement avancé peut être effectué sur la station de base pour déduire le contexte du BAN. Les modèles de Markov caché, des réseaux bayésiens, des réseaux de neurones artificiels et beaucoup d'autres techniques d'intelligence artificielle sont utilisées pour la détection des changements environnementaux.

Concernant la localisation, la technologie GPS est bien adaptée aux environnements extérieurs ; tandis qu'en intérieur, d'autres systèmes de localisation sont nécessaires tels que le système de détection en intérieur de l'université de Harvard basé sur le projet MoteTrack [15] ; dans [35], l'utilisation par exemple de l'Id de cellule GSM et des points d'accès WiFi est rapportée ; alors que dans [3], il est rapporté que des techniques telles que la localisation basée sur WLAN à l'aide de RSS dont la précision est de l'ordre de 1 à 5 mètres, peuvent être utilisées dans les systèmes de surveillance médicale.

Différentes plateformes peuvent être utilisées comme station de base, tels que assistants personnels (PDA pour Personal Digital Assistant), téléphones mobiles, ordinateurs portables ou encore des cartes microcontrôleurs personnalisées ; certains compagnies préfèrent développer leurs propres dispositifs tel que le capteur e-AR du Collège impérial de Londres. Toutefois, l'utilisation des plateformes mobiles comme les PDAs et

⁸ Voir "Analyse et fusion des données".

Smartphones est devenue une tendance populaire, sans oublier que de tels appareils portables sont en faveur de la mobilité en environnement extérieur et de la réactivité en temps réel. En effet, comme décrit précédemment, les téléphones mobiles sont de plus en plus utilisés dans notre quotidien, en particulier les Smartphones dont le développement permet de puissantes capacités de traitement et de larges capacités de stockage allant en faveur des exigences des systèmes de surveillance [3, 4, 14, 20].

En termes de systèmes d'exploitation tournant sur ces appareils intelligents et mobiles, les plus populaires sont iOS d'Apple, Android considéré comme une bonne option pour sa compatibilité, son ouverture et sa flexibilité, et Windows Mobile fournissant un accès facile à l'API bas niveau nécessaire au module de capteurs [4, 35].

Du point de vue des topologies réseaux, celles en anneau et en bus ne sont pas adaptées au déploiement sur le corps humain ; par contre, les topologies en étoile et en mesh (maillée) (voir Tableau 6) peuvent être utilisées au sein de l'intra-BAN, malgré que la topologie en étoile où tous les nœuds communiquent directement avec le puits (sink) est rapportée comme favorite [20, 36]. La topologie en étoile très populaire depuis les débuts des BANs, est largement utilisée du fait de la simplicité de réalisation de son protocole réseau ainsi que la non-nécessité de protocoles de routage dans certains cas. Cependant, cette topologie n'est pas sans inconvénients ; en effet, en raison de la limitation en énergie, la communication entre le puits et les nœuds capteurs qui sont loin de ce dernier est difficile ; Pour cela, les réseaux multi-sauts où topologies en mesh sont les plus performantes et appropriées malgré la complexité de leur réalisation, et sont actuellement un point d'attention pour beaucoup de chercheurs ; ces réseaux pourraient diminuer l'affaiblissement de propagation et optimiser la distribution de consommation d'énergie [20].

	Topologie en étoile	Topologie Mesh
Affaiblissement de propagation	Faible pour les nœuds sur le même coté Elevé pour les nœuds sur cotés différents	Réduit par la diffraction à travers le multi-saut
Portée de la transmission radio	Non approprié pour les petites portées de propagation	Portée de propagation radio ajustée par le changement du nombre de nœuds
Consommation d'énergie	Les nœuds proches du puits consomment moins d'énergie	Les nœuds proches du puits consomment plus d'énergie, puisqu'ils transfèrent en plus de leurs données, les données d'autres nœuds
Délai de transmission	Les nœuds connectés directement au puits ont le moins de délai de transmission	Les nœuds les plus proches du puits n'ont aucun délai intermédiaire
Interférence inter-utilisateur	Les nœuds loin du puits nécessitent plus d'énergie pour transmettre les	Comme chaque nœud communiquent seulement avec ses voisins, l'énergie de

	données avec plus d'interférences des autres nœuds	transmission est faible et donc avec moins d'interférences
Mobilité et défaillance des nœuds	Seul le nœud défaillant est affecté	Le réseau entier comprenant des nœuds avec erreurs doit être réinitialisé.

Tableau 6. Comparaison entre les topologies en étoile et en mesh [20]

1.3.2.2 Au niveau de l'inter-BAN

La communication entre la station de base et le beyond-BAN, représentée par le segment inter-BAN doit être basée sur les technologies sans fil afin de supporter la pénétration (omniprésence) et la mobilité. En effet, si la personne surveillée est chez elle par exemple, les données peuvent être transmises par la station de base vers le beyond-BAN à travers le WLAN via la passerelle domestique (home gateway). Dans le cas où la personne est à l'extérieur, la communication doit être sans fil et des stations de relais au sein des réseaux sans fil disponibles peuvent être nécessaires compte tenu des transmissions à longue distance. Cette communication sans fil permet la mobilité de la personne et une surveillance à distance, ainsi que le support d'applications en temps réel [4, 11, 26].

Différentes technologies peuvent être utilisées au niveau du segment inter-BAN tels que WLAN, Bluetooth/Bluetooth Low Energy, Zigbee, UWB, Cellular, ...etc. [2, 4, 13]. Le choix dépend en grande partie des besoins en termes de portée et vitesse de transmission requises ; la technologie 2G par exemple, étant assez ancienne, peut toujours être utilisée dans certaines applications de surveillance dont le besoin en bande passante est relativement faible. D'autres aspects importants doivent être pris en considération tels que la sécurité et la fiabilité mais ces derniers peuvent être assurés à l'aide de protocoles niveau applicatif [3, 26].

Les canaux de communication de la 2G/GSM, 2.5G/GPRS, 3G/UMTS et autres réseaux mobiles sans fil sont souvent utilisés malgré leur coût élevé ; Pour atténuer cette contrainte, la station de base pourrait communiquer à travers la passerelle domestique via WLAN quand la personne est chez soi par exemple, et diminuer la fréquence de transmission des données en environnement extérieur. Néanmoins, la diminution des coûts de communication pourrait être atteinte avec l'utilisation de la technologie 4G [4]. Par ailleurs, la communication peut être soit réalisée en ad hoc, ou bien sur la base d'infrastructure ; la première étant bien adaptée aux environnements dynamiques facilitant un déploiement rapide tels que dans les applications pour surveillance des victimes sur les lieux d'une catastrophe [24].

Dans le cas où le beyond-BAN peut être atteint à travers des points d'accès ou relais à courte portée, Zigbee est le standard le plus populaire en raison de ses caractéristiques précédemment citées i.e. faible consommation d'énergie, faible cycle de service, support des réseaux en mesh et sécurité à 128 bits ; alors que d'autres technologies récentes tel que Bluetooth Low Energy (BLE) pourraient apporter plus d'alternatives [13].

Du point de vue protocoles de communication pour la livraison des données collectées, SMAC est le protocole préféré dans le cas d'un réseau en ad-hoc ou point-à-point, tandis que dans le cas d'une connectivité WLAN et WWAN, les protocoles basés IP sont plutôt utilisés [3].

Dans [17], une technique de traitement des cas d'urgences s'appuyant sur la mise en réseau ad-hoc est décrite par les auteurs ; celle-ci permet de propager les appels d'urgence au voisinage de la personne surveillée dans le but de trouver des premiers secours dans l'immédiat. Le concept est simple, dans le cas d'une situation d'urgence tel qu'un AVC (Accident Vasculaire Cérébral) or une chute, les passerelles du WBAN se forment spontanément en réseau ad-hoc avec les appareils accessibles du voisinage, c'est ce nouveau réseau qui sera alors utilisé pour propager les appels d'urgence.

1.3.2.3 Au niveau du beyond-BAN

Les données transmises au beyond-BAN ou Back-End system peuvent être stockées pour un diagnostic médical plus poussé et traitées avec des algorithmes plus sophistiqués que ceux utilisés par la station de base ; ceci garantie une analyse à long terme et un stockage des données des personnes surveillées ainsi que les résultats de leurs analyses [3, 4, 37]. En outre, les auteurs dans [8] parlent de base de données de recherche dans laquelle les données collectées sont automatiquement intégrées, donnant la possibilité à la communauté médicale de mieux comprendre l'évolution des maladies ou les effets des thérapies médicamenteuses et de supporter les personnes handicapées.

L'architecture orientée services et les technologies basées sur le web sont des choix populaires pour le Back-End system dont les serveurs par conséquent implémentent des applications web et des services à l'aide de différentes technologies tels que XML, HTML, ASP.NET, JSP ...etc. et bénéficient d'Internet pour la communication entre les différents éléments du beyond-BAN [3, 4].

Le stockage est généralement réalisé à l'aide de bases de données, alors que la communication entre les utilisateurs et les professionnels de la santé peut être simplifiée par l'implémentation d'interfaces web [13].

En plus des unités de stockage et de traitement, le beyond-BAN peut comprendre plusieurs autres éléments [1, 10, 14, 19] tels que ;

- un système pour l'envoi de feedback aux utilisateurs ou pour initier des alertes en cas d'urgence, aux professionnels de la santé pour intervention, ou bien à la famille, et ce, à travers des SMS ou emails par exemple ;
- un service de transfert direct des données vers les docteurs, ambulances ou encore centres médicaux, à travers des transmissions sans fil (GSM, UMTS, WLAN, ...);
- un système de vidéo conférence pour que les docteurs et autres professionnels de la santé puissent communiquer avec les personnes surveillées à travers Internet ;
- un service de consultation à distance des données et les résultats de leurs analyses, éventuellement à travers Internet via des applications web avec interfaces et des applications mobiles autonomes ;

- ou un service de contrôle à distance utilisés par les docteurs comme pour configurer les paramètres du système tel que les seuils maximaux des signaux biologiques par exemple.

Dans [17] par exemple, une proposition d'architecture d'un système de surveillance médicale à distance est proposée. Au sein du "domaine de service" représentant le beyond-BAN, un serveur en ligne est décrit comme étant un composant virtuel pouvant être constitué de différents serveurs physiques localisés ou non dans un même endroit. La proposition mentionne que le serveur, à travers une analyse croisée des patients, peut construire une vision globale sur les effets de certains traitements médicaux suivis par les patients surveillés, et ainsi peut fournir un feedback utile aux nouveaux patients suivant le même traitement. D'autres services pouvant être implémentés ont été cités par les auteurs, tels que la possibilité de fournir aux utilisateurs des informations utiles et des nouvelles autour de la santé, ou encore la possibilité d'envoyer des conseils périodiques aux agences gouvernementales sur les conditions de santé d'une région surveillée.

1.3.3 Fusion et analyse de données

Diverses techniques de fusion et analyse de données sont utilisées dans les systèmes de surveillance médicale, selon les besoins des applications cibles et en fonction de capacités matérielles.

Le prétraitement et compression des données et l'extraction d'information font partie de la procédure de fusion des données. Ces techniques à travers divers traitements, sont utilisées pour rendre les données collectées de plusieurs capteurs plus efficaces. Selon le but d'une technique d'analyse de données, un ou plusieurs capteurs peuvent être impliqués. Pour la reconnaissance comportementale par exemple, afin de reconnaître les différentes actions du patient tel que l'angle de mouvement ou la direction, les techniques à cet effet utilisent non seulement les données collectées à partir des accéléromètres mais aussi d'autres capteurs principalement inertiels comme les gyroscopes et magnétomètres permettant une meilleure précision de mesure [20].

L'un des principaux buts de ces techniques est l'extraction d'information cliniquement pertinente au sujet du patient. La détection d'anomalies dans les activités quotidiennes utilise par exemple les techniques basées sur les similarités ou à base de règles. D'un autre côté, avec l'utilisation de techniques tels que les méthodes heuristiques basées sur la classification, l'analyse de buts ou l'information spatiotemporelle, la détection d'anomalies peut être utilisée pour les situations dangereuses (à risques) ou la détection d'épisodes d'errance [1, 13].

Les techniques et algorithmes de fusion et analyses de données sont très utiles pour la détection des états anormaux, et donc des risques possibles de santé afin de tenter d'éviter dans les temps les problèmes graves. Un bon exemple décrit et utilisé dans la solution présentée dans [35], consiste en un détecteur et classificateur open source de rythme cardiaque, pouvant classer ce rythme en trois états, normal, CVP⁹ ou inconnu.

⁹ Complexes ventriculaires prématurés (PVC, Premature Ventricular Complexes).

Ce dernier implémente également le calcul du rythme cardiaque qui est vérifié par rapport à un seuil déterminé par le médecin spécialiste. La solution décrite peut ainsi informer le patient en cas d'un taux anormal et même implémenter une procédure d'urgence en cas de situations dangereuses.

Les techniques d'analyse de données peuvent aussi être utilisées pour extraire et déduire des informations non médicales. Un exemple est l'utilisation des techniques d'apprentissage machine pour prévoir la disponibilité future de certains réseaux sans fil, ainsi que prédire les handovers (transfert réseau) nécessaires à travers l'apprentissage des modèles de connectivité de l'utilisateur basés sur son contexte de localisation [37].

1.4 Illustration d'implémentation de systèmes

Un grand nombre de systèmes de surveillance médicale que ce soit des systèmes commerciaux ou des efforts académiques peuvent être trouvés dans la littérature. Les projets généralement cités comprennent Mobihealth [3, 10, 11, 15, 16, 38, 39], PHM [3, 11, 38, 40], AID-N [3, 10, 15, 16, 24, 38], CodeBlue [4, 8, 12, 16, 27, 33, 41], MEDiSN [16, 25, 33, 41, 42], HealthGear [10, 15, 27, 33, 39], MyHeart [1, 14, 27, 33, 35, 43], UbiMon [10, 15, 16, 39, 64], AMON [1, 8, 13, 14, 27, 33] et LifeShirt [10, 14, 15, 27].

Pour mieux illustrer l'implémentation des systèmes de surveillance médicale en termes de techniques et technologies, nous présentons à titre d'exemple quelques aspects d'implémentation de trois différents systèmes, à savoir Mobihealth un système générique de référence largement cité dans la littérature, MobiHealthcare, un effort académique récent de recherche, et ViiCare un système commercialisé par Care In Motion (CIM).

1.4.1 Mobihealth system (MHS), un système de surveillance générique M-Health¹⁰ sur la base duquel plusieurs autres variantes ont été développées tels que MYOTEL ou AWARENESS [11].

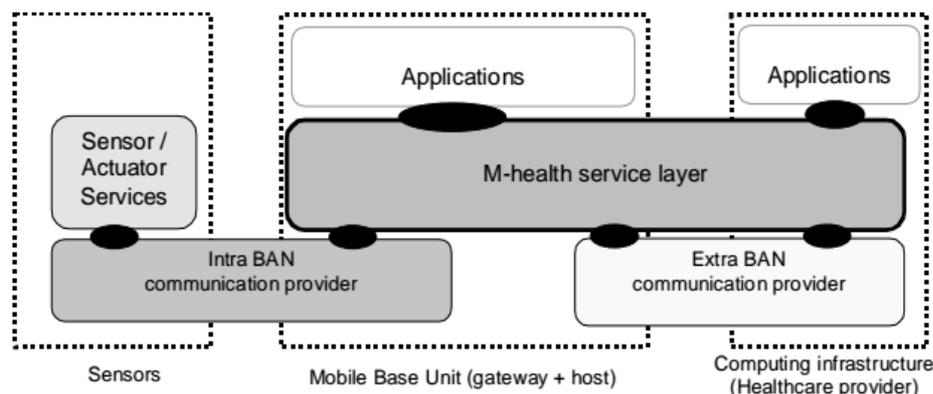


Fig. 4. Architecture fonctionnelle de la plate-forme de service de Mobihealth [44]

Mobihealth est à l'origine du concept du Health BAN (BAN pour la santé), en étant le premier projet à mettre en application la technologie BAN pour des applications de surveillance des patients. MH s'est concentré sur le développement d'une architecture

¹⁰ Où les appareils et dispositifs mobile supportent les services de santé [46].

générique BAN et son système de support, laquelle, en intégrant des capteurs spécifiques et autres dispositifs nécessaires et avec l'implémentation des fonctionnalités appropriés, pourrait être spécialisée et ainsi ciblée une application clinique particulière [3, 11].

En plus des capteurs, Mobihealth peut supporter n'importe quel dispositif communicant médical et portable y compris les actionneurs et différents appareils multimédia tel qu'une caméra digitale Bluetooth. L'architecture de Mobihealth supportent les communications filaires et sans fil tels que Bluetooth et Zigbee au sein du BAN.

Le BAN de Mobihealth comprend aussi une station de base appelée MBU, laquelle en plus de jouer le rôle de passerelle vers le beyond-BAN, peut aussi prendre en charge les communications au sein du BAN et permettre le traitement en local, ainsi qu'implémenter certaines applications en local tel qu'un visualiseur local comme dans la variante MYOTEL MyoFeedBack qui fournit un affichage en temps réel des signaux biologiques de l'utilisateur sur la MBU.

Les capteurs tels que les électrodes pour mesurer les ExG i.e. ECG, EMG ou EEG, les capteurs d'activité et de respiration, l'oxymètre de pouls ainsi que d'autres dispositifs connectés ont été utilisés lors des essais de Mobihealth, en plus des informations d'appareils externes qui ont pu être introduites manuellement dans la station de base. Les différentes données collectées sont rassemblées et transférées par la MBU à travers les réseaux publiques sans fil (GPRS, UMTS) vers des serveurs distants i.e. le Back-End system, offrant le service de stockage, et à partir desquelles les informations médicales peuvent être envoyées et examinées par les personnes appropriées. Des applications comme pour déterminer si un événement significatif a eu lieu en appliquant des algorithmes de filtrage sur les données collectées peuvent être implémentées au niveau du beyond-BAN [11, 26, 44, 45].

Dans le projet AWARENESS, un algorithme d'analyse de données est utilisé au niveau de la MBU en cas de faible bande passante, et seules les alarmes sont transférées, tandis qu'en cas de bande passante suffisante tous les signaux biologiques sont transmis au Back-end distant afin d'être traités par des algorithmes de détection plus sophistiqués [3].

1.4.2 MobiHealthcare system [46] est une proposition de recherche académique qui s'inscrit comme Mobihealth dans le domaine M-Health.

Le système de surveillance MobiHealthcare cible trois groupes d'utilisateurs, à savoir les patients souffrant de maladies cardiaques et ayant besoin d'une surveillance à long terme après leur rétablissement, les patients souffrant d'hypertension en cours de traitement d'ajustement des médicaments, et les personnes en sous-santé voulant surveiller leur état en prévention de maladies chroniques. Afin de démontrer l'efficacité du système, différentes applications ont été implémentées.

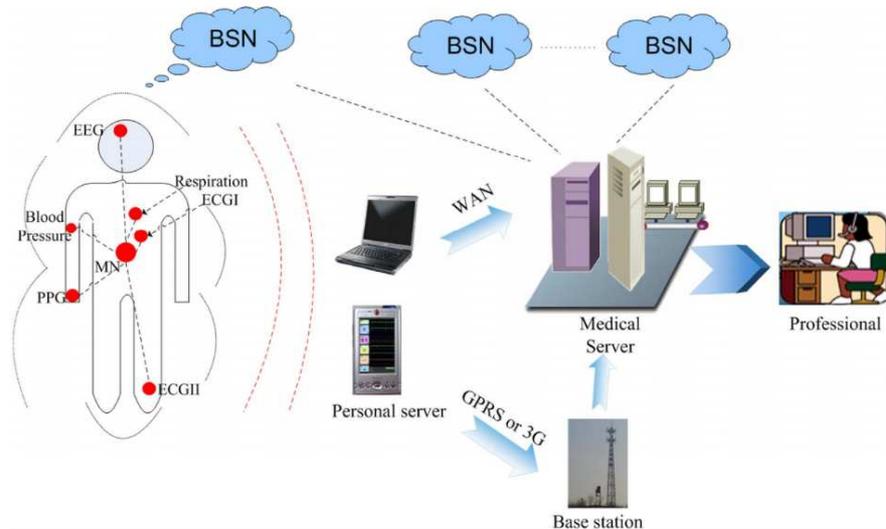


Fig. 5. Illustration d'un système M-health basé sur les réseaux corporels [46]

MobiHealthcare est composé de quatre composants : un ensemble de capteurs pour collecter les signaux physiologiques, un appareil mobile tel qu'un téléphone cellulaire pour traiter les données médicales collectées, et un cluster de serveurs de données représenté par un Datacenter Cloud ; ce dernier est spécialement conçu pour le domaine de la santé, avec de puissantes capacités en calcul et analyse parallèles et un large stockage, et offrant la possibilité de visualiser ou transmettre les données médicales et le résultat de leurs analyses à différents types de terminaux tels que des ordinateurs personnels, téléphones mobiles ou télévision.

Les signaux physiologiques tels que l'ECG (électrocardiogramme), PPG (photopléthysmographie) et TA (tension artérielle) sont collectés à l'aide de trois dispositifs de capture ou collecte : (1) un mini-holter caractérisé par une faible consommation en énergie et la résistance aux déviations dues aux mouvements, permettant la collecte du ECG en continue et à long terme (48 heures) ; (2) un moniteur 3-en-1 pouvant collecter l'ECG, PPG et SpO2 simultanément et utilisé pour vérifier la situation actuelle des patients avec une maladie chronique, suivre les signaux vitales et découvrir les tendances anormales au fil du temps; (3) un sphygmomanomètre intelligent pour enregistrer la tension artérielle pendant une longue période.

Les différentes données collectées sont transmises au dispositif mobile à travers une communication Bluetooth, puis au serveur de données à travers une connexion 3G ou Internet.

Le cluster de serveur de données supportant des dizaines de milliers de personnes connectées transférant des données simultanément (temps de réponse < 1 sec) permet le suivi et la gestion de l'état de santé à travers des dossiers médicaux à long terme, et ainsi évaluer le procédé de traitement et prévenir les maladies. Le serveur de données implémente des algorithmes en relation avec chaque donnée collectée comme analyser les formes d'arythmie à l'aide de la surveillance à long terme de l'ECG, avertir l'utilisateur des anomalies à l'aide de la surveillance multi-paramètres à court terme, ou

encore donner des conseils à l'utilisateur selon son niveau de tension artérielle et juger de son état à l'aide d'analyse de données à long terme.

1.4.3 ViiCare [17] est un système conçu pour être convivial avec une architecture système avancée et de riches fonctionnalités, permettant un stockage à long terme, une prise en charge des urgences et un accès ubiquitaire aux données médicales.

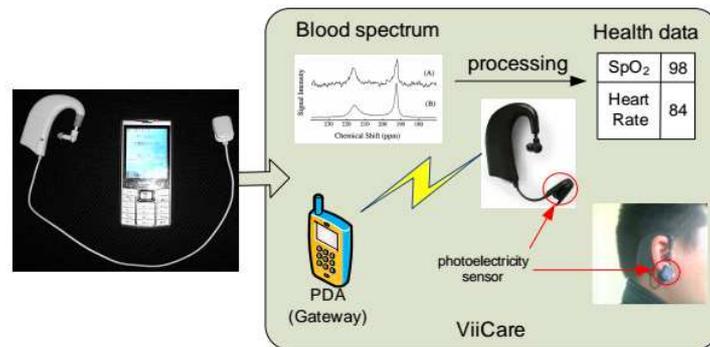


Fig. 6. Système ViiCare

Le système ViiCare comprend trois principaux composants, un dispositif de capture, un téléphone mobile/passerelle et le serveur ViiCare.

A la différence d'un certain nombre de systèmes commerciaux, ViiCare s'appuie sur un seul dispositif de capture portable et multifonction, lequel combiné à des techniques avancées d'analyse biologique permet de mesurer un large ensemble de conditions physiologiques. Le dispositif de capture porté sur le lobe de l'oreille est petit, léger, et ne perturbe pas les activités quotidiennes de l'utilisateur. Il est utilisé pour détecter le spectre de sang de l'utilisateur via un capteur de photoélectricité localisé sur la pince. La position du lobe de l'oreille est intéressante pour deux raisons ; (1) c'est une partie du corps relativement statique ; (2) la distance entre le cœur et le lobe ne peut seulement varier que légèrement rendant le spectre de sang détecté, stable et précis.

A partir du spectre analogique et en utilisant un processeur intégré de signal digital, le dispositif de capture est capable d'extraire divers paramètres médicaux. Certains paramètres tels que le mouvement de l'utilisateur ou la température environnementale sont toutefois détectés à l'aide d'autres capteurs intégrés de façon transparente. Les informations collectées et extraites comprennent la fréquence cardiaque, la température du corps, le taux de respiration, la qualité du sommeil, l'activité et la posture et localisation. Ces dernières sont transmises au second composant i.e. le téléphone mobile.

La communication entre le téléphone mobile et les capteurs est assurée à travers la technologie Bluetooth disponible sur les deux dispositifs. Le dispositif de capture dans le but d'économiser l'énergie, ne transmet que la différence des données entre les envois plutôt que d'envoyer les données brutes. Le téléphone implémente deux principaux algorithmes, un premier d'avertissement pour détecter les chutes en considérant la posture du corps et la zone blessée, et un deuxième de rapports à travers lequel les données collectées et les chutes détectées sont transférées au serveur ViiCare.

Le transfert de données vers le serveur est assuré à travers les réseaux mobiles de télécommunication. Le serveur est implémenté par des stations de travail de haute performance lesquels en plus de stocker les données médicales, offrent des fonctionnalités pour les cas d'urgence et fournissent un service web sécurisé. La consultation et diagnostique en ligne par exemple deviennent donc possible à l'aide des données médicales à long terme et à travers la communication web. De plus, les contacts d'urgence peuvent être informés par le centre d'appels à travers une messagerie automatique ou des appels téléphoniques.

	Intra-BAN	Inter-BAN	Beyond-BAN
Mobihealth System (MHS)	<p><i>BAN générique</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Capteurs, électrodes pour mesurer ExG, capteurs d'activité/respiration et oxymètre de pouls ● Tout dispositif médical corporel communicant : actionneurs et autres dispositifs multimédia (Bluetooth digital camera, ...) ● Les données des dispositifs externes peuvent être introduites manuellement via la MBU ● Station de base appelée MBU (HP iPAQ, Sony Ericsson P8000, ...) <ul style="list-style-type: none"> ○ Traitement local: Implémente des algorithmes d'analyses de données ○ Peut héberger des applications locales ex. visualiseur local ● Communications filaires et sans fil, tel que Bluetooth ou Zigbee 	<ul style="list-style-type: none"> ● Réseaux publiques sans fil (GPRS, UMTS) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Back-End system depuis lequel les données sont desservies et peuvent être examinées par le personnel compétent <ul style="list-style-type: none"> ○ Service de stockage ○ Algorithmes de détection plus sophistiqués, ex. algorithmes de filtrage pour déterminer si un événement significatif s'est produit.
MobiHealthcare System	<ul style="list-style-type: none"> ● Capteurs corporels: mini-Holter (ECG), moniteur portable 3-en-1 (ECG, PPG, SpO2), sphygmomanomètre intelligent (BP) ● Appareil mobile tel qu'un téléphone cellulaire <ul style="list-style-type: none"> ○ Traitement des informations médicales ● Transmission entre capteurs et appareil mobile via les communications Bluetooth 	<ul style="list-style-type: none"> ● A travers la 3G ou Internet 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cluster de serveur de données: Datacenter Cloud spécialement conçu pour la santé ● Puissantes capacités en calcul et analyse parallèles et un large stockage de données <ul style="list-style-type: none"> ○ possibilité de visualiser ou transmettre les données médicales et le résultat de leurs analyses à différents types de terminaux tels que des ordinateurs personnels, téléphones mobiles ou télévision.

ViiCare	<ul style="list-style-type: none"> ● Dispositif portable et multifonction <ul style="list-style-type: none"> ○ Capteur Photoélectricité ○ Autres capteurs intégrés ○ Techniques avancées (analyse biologique) ○ Rythme cardiaque, TA, SpO2 taux de respiration, qualité de sommeil, activité, location, environnement, posture ● Téléphone mobile <ul style="list-style-type: none"> ● Algorithmes d'alarmes et de reporting ● Communication de données entre les capteurs et l'appareil mobile assurée via la technologie Bluetooth 	<ul style="list-style-type: none"> ● A travers les réseaux mobiles de télécommunication 	<ul style="list-style-type: none"> ● Implémenté par des stations haute-performances <ul style="list-style-type: none"> ○ Stockage des données médicales ○ Fonctionnalités pour le centre d'appels des urgences ○ Web service sécurisé: Consultation et diagnostique enligne
----------------	--	---	---

Tableau 7. Aspects d'implémentation des systèmes décrits

1.5 Conclusion

Grâce à la progression de l'informatique et l'émergence de nouvelles technologies, les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs ont beaucoup évolués et de nombreux systèmes et prototypes de recherche ont pu voir le jour. Cependant, en raison des critères médicaux stricts qui doivent être satisfaits dans de tels systèmes ainsi que les limitations en ressources et contraintes ergonomiques, un nombre d'aspects restent toujours d'actualité et nécessite plus de recherche et d'amélioration. Les principaux axes de recherche ainsi que les besoins et challenges relatifs sont synthétisés et décrits dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 2

Aspects conceptuels de recherche dans les Systèmes de Surveillance Médicale à base de Capteurs

2.1 Introduction

De nombreux besoins et challenges relatifs aux systèmes de surveillance médicale à base de capteurs sont rapportés dans la littérature. En effet, un nombre de critères médicaux stricts doivent être satisfaits dans de tels systèmes tout en prenant compte les limitations en ressources et en satisfaisant les contraintes ergonomiques. Il a été démontré dans certains essais que l'utilité, la facilité d'utilisation ainsi que la personnalisation sont importants pour l'acceptation par les personnes surveillées et les professionnels de la santé. De tels besoins et challenges ainsi que d'autres comme la fiabilité ou l'invasivité réduite doivent être résolus afin que les systèmes développés puissent réellement aider à améliorer la qualité de vie des personnes [11, 27].

Par ailleurs, sachant que les réseaux corporels sans fil (WBANs) sont typiquement la base des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs, les spécificités de ce type de réseaux ont un important impact sur les axes de recherche du domaine. La faible densité et l'espace limité, les débits stables, la mobilité et topologie variable résultante, la précision des résultats liée à la robustesse et à la précision des nœuds, l'importance de la taille des nœuds, la nécessité d'une sécurité élevée, ainsi que l'impact significatif de la perte de données et un plus grand besoin en terme de QoS et de mesures de livraison de données en temps réel, sont les spécificités majeurs et typiques citées pour les WBANs [19, 47].

Il est à noter que les besoins et challenges décrits ci-après ne doivent pas tous être forcément satisfaits et/ou résolus pour un même système ; Certains peuvent être considérés et d'autres non, alors que le degré d'un besoin peut aussi varier selon différents paramètres. Nous croyons donc que les besoins et challenges peuvent être spécifiques à l'utilisateur, à l'application ou aux deux à la fois. De plus, ces derniers étant en quelque sorte entrelacés, certains pourrait donc influencer sur le besoin d'autres alors que d'autres pourrait influencer sur le degré de besoin des autres.

2.2 Axes de recherche: Besoins & challenges

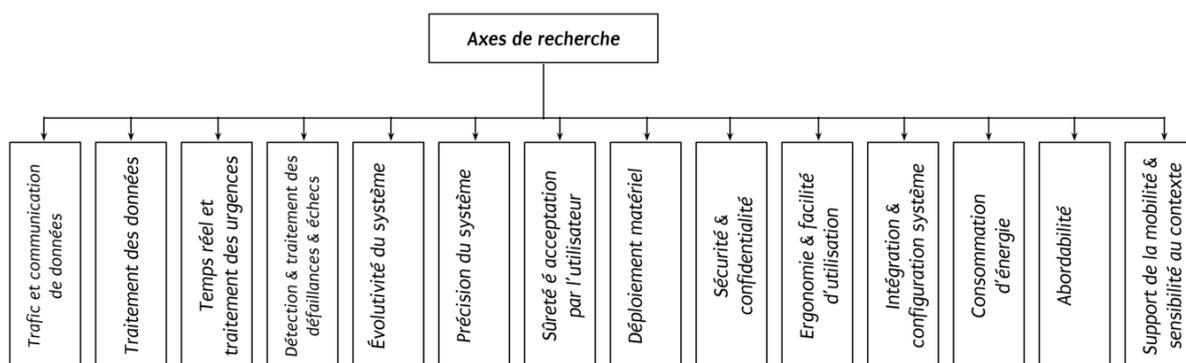


Fig. 7. Axes de recherche pour la conception des WHMS

Les principaux aspects de conception de recherche ainsi que les principaux challenges de compromis sont brièvement décrits ci-dessous. Cependant, ce travail abordera

particulièrement le support de la mobilité, ses spécificités et son impact dans les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs, comme cela sera présenté plus loin.

- **Trafic et communication de données**

L'un des aspects les plus importants dans la surveillance médicale, plus particulièrement quand il s'agit de contenu multimédia, est la qualité de service (QoS) dont les besoins sont considérés comme fortement spécifiques à l'application [2, 3, 29]. De plus, la sensibilité des transmissions aux connexions intermittentes a donné lieu au besoin de communications fiables [15], cité comme le plus important des besoins dans les BAN médicaux et est considéré comme problématique critique fortement influencée par les protocoles de routage et MAC [41]. L'utilisation des protocoles de retransmission est aussi un besoin nécessaire, et la perte et corruption de données devraient être évitées afin de fournir aux professionnels de la santé des données de haute qualité [15, 48]. Il est aussi rapporté que la livraison dans les temps des données transmises est critique particulièrement dans les cas d'urgences [41].

Les interférences (corps humain, environnement, ...) sont une autre problématique importante qui nécessite d'être traitée à l'aide de mécanismes appropriés [48]. Le problème de partitionnement topologique causé par les mouvements du corps humain est une sérieuse problématique qui devrait être considérée par les protocoles de routage [14, 20]. En outre, la sélection et caractérisation du canal sont deux autres aspects importants sur lesquels il y a focus de recherche [20].

L'une des plus importantes préoccupations relatives à la fiabilité de communication est la conception d'antennes particulièrement pour les capteurs placés dans le corps. Cette problématique est liée à certains paramètres réseau tels que la capacité, la portée, la consommation d'énergie et la sécurité [2].

D'autre part, un trafic bidirectionnel devrait être supporté dans certains systèmes. Le trafic montant permet d'acheminer les données physiologiques et autre informations non mesurables à l'aide de mécanismes tel que le système de dialogue automatisé, ainsi que d'envoyer les messages critiques et alertes. Par ailleurs, le trafic descendant permet l'envoi de feedback à l'utilisateur, des modules logiciels tels que des mises à jour, nouvelles applications, ...etc. ou encore des données de maintenance et gestion tels que pour le calibrage des capteurs ou la configuration des paramètres à distance comme les seuils [14, 24, 42].

De plus, le support du multicast est aussi un besoin important à considérer dans certaines applications tels que la surveillance au sein d'un hôpital [41, 49].

- **Le traitement des données**

Affectées par les interférences, les données collectées par les capteurs sont inévitablement mélangées avec du bruit, rendant ces données non utilisables directement ; ceci entraîne le besoin d'utiliser les techniques de débruitage (denoising) ou réduction de bruit dans le but de filtrer efficacement le bruit des données collectées [20]. En outre et toujours au niveau des capteurs, la quantité de données transmises peut être efficacement réduite à l'aide de la compression de données devant être réalisée à travers des techniques légères et efficaces [16, 20]. Par ailleurs, l'extraction

d'information pertinente à partir des données collectées apparaît comme l'un des paramètres de conception les plus critiques des systèmes de surveillance [38]. La plupart des techniques telles que la localisation en espace intérieur ou la reconnaissance d'activité nécessitent toujours d'être améliorées en termes de fiabilité et de précision [13]. Les chercheurs font aussi toujours face à des problèmes dans la conception des algorithmes de fusion de données¹ dans le cas où ces derniers sont de différents types, ainsi que le challenge de concevoir de meilleurs algorithmes collaboratifs de fusion pouvant réduire la redondance de données [20, 48]. Un autre besoin de conception important rapporté dans [15] concerne la nécessité de gérer et intégrer les différentes données collectées d'une manière logique avec les informations médicales déjà utilisées tels que DMR (Dossiers Médicaux Electroniques, EMR pour Electronic Medical Records). D'autre part, des mécanismes efficaces tels que pour le traitement en local sur capteur ou sur station de base, utilisés pour surmonter les problématiques relatives à la surveillance en continue, comme la durée de vie des nœuds capteurs, doivent être implémentés à travers des algorithmes légers prenant en considération les ressources limitées et les capacités de traitement offertes par les dispositifs utilisés [2, 16, 20, 26].

- **Temps réel et traitement des urgences**

Selon l'application de surveillance cible, la fonction de détection des événements d'urgence peut être généralement nécessaire [1]. Du fait que les systèmes de surveillance médicale impliquent la santé des personnes et qu'un risque ou une urgence peuvent arriver à n'importe quel moment [15, 48], un nombre de besoins et exigences doivent être remplis à cet effet, à savoir l'acquisition et analyse en temps réel, la détection précoce des événements [1, 15], la priorisation des données et alertes [12, 15, 42, 48] et la prévention de fausses alarmes [50].

- **Détection et prise en charge des défaillances et échecs**

Concevoir un système tolérant aux pannes est recommandé [15] et nécessite l'implémentation de fonctions de détection et traitement de défaillances. Maintenir l'exactitude des données envoyées en cas de défaillance, la récupération automatique après une panne temporaire, ainsi que la possibilité d'informer l'utilisateur d'une défaillance ou panne système sont aussi décrits dans [10] comme propriétés désirables dans les systèmes médicaux. Dans [25], il est également noté que dans le cas de pannes, l'architecture BAN doit pouvoir récupérer dans un temps très court.

- **Évolutivité du système**

Le support de l'évolutivité est un autre besoin cité, où selon l'application cible tel que la surveillance au sein des hôpitaux, le type de capteurs utilisé, les besoins réseau tel que la couverture et la connectivité, le système pourrait avoir besoin de supporter un grand nombre croissant de personnes surveillées et éventuellement de capteurs en cas de besoin [15, 42].

¹ Utilisé pour combiner plusieurs signaux, ce qui pourrait augmenter la précision de déduction, dans le cas où un seul capteur n'est pas suffisant.

- **Précision du système**

Il est rapporté dans [11] que l'un des facteurs d'acceptation professionnelle des systèmes de surveillance est la précision des mesures du capteur où à la différence d'autres réseaux de capteurs sans fil, la précision du résultat dans les WBANs est relative à la précision des nœuds capteurs et leur robustesse [47]. De plus, le challenge de conception de techniques de calibration prenant en considération le changement d'environnement (température ambiante, ...), et affectant les capteurs doit être abordé. Dans le cadre de la précision des résultats, dans certaines applications de surveillance médicale comme la réhabilitation, le besoin de corrélation des données provenant de plusieurs nœuds comme dans la surveillance de mouvement des membres du corps (mains, pieds, ...), nécessite des mécanismes de synchronisation précis, en raison de l'absence d'horloge partagée entre les nœuds capteurs ; dans cette perspective, les méthodes s'appuyant sur les battements cardiaques ou autres phénomènes physiologiques doivent être considérées [47, 48].

- **Sûreté et acceptation par l'utilisateur**

D'un point de vue convivialité et acceptation par l'utilisateur, la surveillance médicale continue requière que les capteurs portés pendant de longues durées soient confortables et commodes [26]. Portabilité avec conception ergonomique, miniaturisation, légèreté et discrétion sont les propriétés de convivialité typiquement citées pour la conception des capteurs portables [13, 15, 16, 36, 42, 48, 49]. Cependant, répondre à ces besoins quelque peu en contradiction avec le besoin de batteries à longue durée de vie est toujours un challenge où les techniques de collecte d'énergie et la transmission d'énergie sans fil doivent être considérées [48]. Par ailleurs, dans le cas d'utilisation d'appareils mobiles comme station de base, les applications tournant sur ces derniers doivent être fiables en priorité, ainsi que légères [10, 26].

En terme de sûreté de l'utilisateur, les besoins de conception relatifs au contact des dispositifs médicaux avec la peau tels que les propriétés hypoallergéniques et non-irritantes [15, 42], ainsi que les problèmes de radiations sur le corps humain [27] doivent être fortement considérés. Les protocoles de routage prenant en considération le facteur thermal par exemple ont été introduits dans le but de surmonter les problématiques relatives à la chaleur produite par le traitement et communications intensifs pouvant provoquer des dégâts sur le tissu humain [2]. Malgré qu'un standard IEEE avec des recommandations autour du sujet a été publié, la recherche est considérée dans ce domaine encore non achevée [48], et des préoccupations tels que l'absorption électromagnétique en utilisant des dispositifs à faible transmission doivent être abordées, sachant qu'il a été indiqué dans certaines études que certains risques de santé sont directement liés à l'exposition de radiations des dispositifs sans fil [13, 24].

- **Déploiement matériel**

Dans une configuration BAN, le déploiement des capteurs, ayant un impact sur la précision et la fiabilité y compris les interférences, est très important [20, 25, 48]; la recherche du meilleur emplacement pour déployer un capteur est considérée comme un sujet de recherche d'actualité durant les dernières années [20]. La position du poignet est par exemple

mentionnée comme permettant de surveiller la plupart des signes vitaux ; toutefois, l'ECG pourrait être affecté par le taux élevé de bruit lors des mesures [15].

En plus des capteurs, d'autres challenges et paramètres sont aussi à considérer tels que le positionnement approprié des nœuds relais contribuant à la réduction des interférences, la sélection des nœuds puits et leurs nombres considérée comme assez difficile, ou encore le choix entre une ou plusieurs passerelles [25].

Par ailleurs, dans des situations comme lors de catastrophes, où les services d'urgence pourraient déborder à l'intérieur ou à l'extérieur en termes de victimes reçues, le réseau devrait être facilement déployable, non basé sur des infrastructures externes, et capable d'atteindre une zone géographique étendue afin d'englober les victimes [25].

- **Sécurité et confidentialité**

Les données collectées dans les systèmes de surveillance médicale sont généralement très sensibles, ayant une relation étroite avec les informations personnelles des utilisateurs ; ce type de données pourrait donc mettre la personne surveillée en danger si jamais ces données étaient divulguées [16, 20], ou modifiées, tel que générer de fausses informations contextuelles entraînant des décisions erronées [12]. Par conséquent, de tels systèmes nécessitent un niveau élevé de sécurité tandis que la confidentialité est considérée comme l'une des plus importantes questions critiques éthiques [16, 47].

Par ailleurs, la sécurité et confidentialité sont rapportées comme principaux facteurs d'acceptation des systèmes par les utilisateurs [4]. Une classification des attaques et menaces possibles est rapportée dans [36], décrivant deux principales catégories à savoir les attaques passives et les attaques actives. Les auteurs de [16] ont présenté une liste des attaques communes ciblant les réseaux de capteurs médicaux et leurs contremesures. Le cryptage -tenant en considération les ressources limitées- et l'authentification (à noter que les méthodes non invasives basées sur les fonctions biométriques et physiologiques sont recommandées pour les futures systèmes) doivent toujours² être utilisés pour le trafic des données transmises [2, 15, 16, 20, 24]. Ces données doivent être protégées (intégrités de données) de manière à ce que n'importe quel changement soit détecté et prévenu [2, 36], alors que les mécanismes pour la fraîcheur de données doivent être utilisés pour prévenir la rejouer des anciennes trames probablement espionnées par un attaqueur entraînant une perturbation [16, 36, 51]. Les données stockées devraient aussi être cryptées et maintenues confidentielles, autorisées d'accès aux professionnels concernés et protégées contre des modifications illégales, tout en ayant une origine connue [2]. Par ailleurs, l'habilité à distinguer l'appartenance à un réseau de capteurs est nécessaire, vu que les communications entre capteurs proches d'autres WBANs peuvent facilement se croiser [2]. D'autre part, les capteurs doivent être conçus de façon à être inviolables et hermétiquement scellés afin de réduire les possibilités de fraude étant donné que ces derniers peuvent être le sujet de mauvais traitements. Enfin, des mécanismes tels que les filtres d'interférences électromagnétiques doivent être considérés en prévision aux attaques de brouillage qui interfèrent les signaux des capteurs à l'aide de puissants transmetteurs [15, 16].

² Prenant en considération toutefois certains cas comme les catastrophes et urgences, où il peut être nécessaire de compromettre d'une certaine manière la confidentialité du patient.

- **Ergonomie et facilité d'utilisation**

L'ergonomie et la facilité d'utilisation sont l'un des aspects importants dans les systèmes de surveillance médicale, tout particulièrement sachant que les personnes surveillées sont souvent âgées et non familiarisées avec les technologies modernes ; ceci suscite le besoin de conception d'applications intuitives, simples et faciles d'utilisation ; des directives de conception d'applications sont généralement données par les éditeurs de plateformes [5, 15, 36]. D'autre part, certaines fonctions liées à l'interaction peuvent être spécifiques à l'application et à l'utilisateur tels que l'affichage des signaux biologiques localement, les avertissements et notifications sonores ou encore l'utilisation de différents moyens d'interactions (gestes, voix, ...) selon le profil de l'utilisateur (âgé, handicapé, ...) [3, 16].

- **Intégration et configuration du système**

Un autre aspect important à noter est l'intégration et configuration transparente du système, pouvant apporter beaucoup d'avantages³ tels que l'élimination d'intervention manuelle à l'aide de l'installation automatique, l'auto-activation ou même l'auto-réparation des capteurs et dispositifs médicaux, l'utilisation de protocoles de découverte permettant une configuration dynamique, la reconfiguration et personnalisation des capteurs biologiques, et permettre les applications sur capteurs d'être dynamiquement mises à jour [15]. Etant donné que dans la plupart des cas la configuration est réalisée par des personnes non qualifiées dans le domaine des TIC comme le personnel médical, l'auto-organisation et l'auto-maintenance du réseau doivent être également supportées, l'adhésion d'un nouveau nœud au réseau doit être donc faite sans intervention externe bien que les performances des capteurs et autres dispositifs ne doivent pas être affectées par leur interopérabilité [15, 47, 48]. Il est aussi à noter que la conception de la solution réseau doit prendre en considération l'hétérogénéité matérielle et logicielle [29].

- **Consommation d'énergie**

L'un des critères de performances les plus critiques dans la surveillance médicale est l'énergie. Celui-ci implique plusieurs facteurs tels que la conception et capacité des batteries étant jusqu'ici la seule source fiable d'énergie pour les capteurs, la collecte de données, ainsi que les stratégies d'optimisation de l'énergie consommée lors des communications et traitements [15, 29]. Il est rapporté que l'idéal serait que les batteries puissent durer plusieurs années ou voir plus, à l'aide par exemple des techniques de collecte d'énergie [2]. Par conséquent, afin de permettre l'utilisation de petites batteries avec une longue durée de vie, les capteurs doivent implémenter des composants à faible consommation d'énergie tels que des transmetteurs radio, ainsi que d'optimiser la consommation d'énergie [15, 32, 48]. L'efficacité de consommation d'énergie lors des communications et traitements sont deux facteurs majeurs pour l'optimisation d'énergie. Les protocoles de transmission utilisés sont l'un des aspects sur

³ Bien que l'intégration et auto-organisation des capteurs corporels peuvent être très difficiles en l'absence de normes et standards communs.

lequel la durée de vie d'une batterie dépend, alors que les protocoles de routage influençant directement sur la consommation d'énergie doivent considérer les problématiques tels que la distribution non-équilibrée d'énergie dont la résolution est un focus pour les chercheurs. En outre, l'écoute au repos (idle listening), l'overhearing, les collisions et autres sources de perte d'énergie doivent être contrôlées par des protocoles MAC prenant en considération la consommation d'énergie (energy aware MAC protocols), ainsi qu'à travers le cycle de service qui doit être correctement déterminé selon l'application cible et qui peut être aussi réduit à l'aide de traitements intelligents sur capteur permettant la transmission des données traitées au lieu de celles qui sont brutes [15, 41, 48]. Il est aussi à noter qu'une distinction intelligente entre les environnements en intérieur et extérieure permet de basculer entre une surveillance normale et d'urgence, ce qui est en faveur de l'optimisation de l'énergie [4]. Comme pour les protocoles de communication, malgré que beaucoup de travaux ont été faits autour des algorithmes de traitement pour l'optimisation de la consommation d'énergie, plus de travail est toujours nécessaire dans le future [20], les mécanismes et algorithmes de sécurité par exemple, comme le cryptage, doivent être aussi légers que possible prenant en considération les contraintes strictes d'énergie [20, 36].

Par ailleurs, étant donné que la consommation d'énergie est critique, étudier la question de savoir comment fournir l'énergie nécessaire pour parvenir à une surveillance à long terme est un grand challenge [20]. A cet effet, les dispositifs devront prendre avantage des mécanismes futurs tels que la collecte d'énergie ou sa transmission sans fil [13].

- **Abordabilité**

L'abordabilité des systèmes de surveillance médicale permet d'offrir des services ubiquitaires à faible coût et largement accessible au public [27]. La possibilité d'utiliser des capteurs de série standards contribue à la réduction des coûts du système; toutefois, l'aspect de précision devrait être bien considéré dans ce cas. La standardisation en termes de matériel, logiciel, interface et normes de santé est aussi considérée comme importante pour la compétition et la réduction des coûts. D'autres facteurs peuvent aussi influencer sur le coût de tels systèmes comme le coût d'infrastructure, de maintenance et de commercialisation [15].

- **Support de mobilité et sensibilité au contexte**

En fonction de l'application cible, le support de la mobilité des patients et/ou autres acteurs du système (docteurs, ...) peut être requis. Ce support ne doit pas considérablement perturber les performances du réseau, et nécessite l'adaptation rapide des protocoles de communication en réponse aux variations de qualité des liens de transmission et des routes brisées. Dans un hôpital, si un docteur se déplace par exemple entre les chambres, le protocole de routage multi-sauts utilisé devrait être conçu afin de pouvoir trouver rapidement des nouvelles routes, alors qu'un patient mobile pouvant se déplacer entre différents réseaux nécessite l'utilisation de mécanismes pour assurer la connectivité [37, 41, 42, 49]. Un matériel approprié devrait être utilisé afin de pouvoir supporter la mobilité telle que l'utilisation de dispositifs discrets

n'interférant pas avec les activités quotidiennes de l'utilisateur et ne limitant pas ses mouvements et déplacements [34].

Par ailleurs, la mobilité donne lieu à la question de localisation en intérieur et à l'extérieur où des mécanismes appropriés doivent être utilisés particulièrement en cas de besoin d'aide immédiate comme lors d'une crise d'épilepsie par exemple [2, 5]. La localisation de l'utilisateur est aussi une information contextuelle qui peut être utilisée afin de prendre des décisions pertinentes où des mécanismes et problématiques impliqués doivent être abordés tels que prendre en compte la présence de capteurs additionnels dans certains emplacements (maison, ...), ou encore d'un point de vue communication et connectivité comme la sélection du meilleur chemin par la station de base, l'apprentissage de modèles de connectivité de l'utilisateur pour la prédiction de la disponibilité des réseaux, le roaming, le handover intelligent et le choix des protocoles et modes de transmission appropriés [4, 11, 37, 52]. La mobilité des nœuds capteurs au sein d'un même WBAN avec les problématiques et challenges que celle-ci implique doivent aussi être considérés [53]. Les principaux aspects du support de la mobilité et les majeurs mécanismes relatifs seront détaillés dans le prochain chapitre.

Dans le cadre de la sensibilité au contexte, où les informations contextuelles sont exploitées, en associant l'activité physiologique de l'utilisateur et son environnement avec les signes vitaux collectés [12, 24], il est rapporté que malgré qu'aucun consensus n'existe au sujet des types d'information contextuelles adoptés au sein de l'informatique biomédical, trois types sont cependant considérés comme prometteurs pouvant contribuer dans la conception des systèmes de surveillance médicale, à savoir le contexte médical, d'activités physiques, et environnemental. Les informations contextuelles de type médical peuvent comprendre des informations mesurables comme le rythme cardiaque, des informations non mesurables comme le signalement de maux de tête, des facteurs risques, et des médicaments prescrits. Une étude autour de ces informations contextuelles et leurs sources a été menée par les auteurs de [54].

Par conséquent, les informations contextuelles collectés en plus des signes vitaux sont importants pour différentes raisons tel que comprendre la situation actuelle de l'utilisateur, l'adaptation de la stratégie de traitement ou encore prendre des décisions intelligentes comme il a été décrit auparavant [4, 12, 52].

o Principaux challenges de compromis

Un certain nombre de compromis relatifs aux systèmes de surveillance médicale doivent être considérés. Ces derniers dont beaucoup sont liés à la fiabilité et consommation d'énergie, doivent être traités selon les besoins et buts de l'application cible. Il a été conclu dans [4] qu'aucun compromis parfait entre tous les facteurs essentiels n'a encore été atteint par les systèmes existants.

Dans [19], il a été noté qu'un compromis entre la fiabilité, le temps de latence et la consommation d'énergie devait être résolu, alors que dans [2], il a été indiqué que sur la base d'applications spécifiques, le temps de latence devait être mis en compromis avec d'autres facteurs afin d'améliorer la fiabilité et réduire la consommation d'énergie. Le besoin de développement de protocoles efficaces de communication afin d'atteindre un

niveau de compromis acceptable entre la fiabilité et la consommation d'énergie est noté dans [25], et est considéré dans [23] comme un important challenge ; un tel compromis couplé dans certains cas avec des débits de données élevés dans le but de concilier la durée de vie du réseau et les performances décrites par une grande fiabilité de communication, est considéré comme un sérieux challenge [48].

Comme décrit précédemment, les communications et traitements sont deux facteurs importants pour l'efficacité en termes de consommation d'énergie, l'importance d'un compromis entre ces derniers est notée dans [15], tandis qu'il est rapporté dans [2] qu'un tel compromis est aussi nécessaire pour répondre aux besoins de support du temps réel. Un autre compromis relatif à l'efficacité en consommation d'énergie et devant être considéré, est décrit entre les facteurs format compact, poids léger, discrétion et durée de vie des batteries, sachant que les trois premiers sont en contradiction avec le dernier [15, 48].

Par ailleurs, un compromis entre la précision, le prix et la compétition en ce qui concerne les capteurs est requis [15] afin d'offrir des réseaux de capteurs à faible coût autant que possible et nécessaire sans pour autant affecter leur précision de manière allant à l'encontre des besoins de l'application cible ; tandis qu'il est aussi rapporté qu'un compromis entre la fiabilité, le coût, la technologie utilisée et la durée de vie d'un capteur doit être aussi considéré [15].

2.3 Conclusion

Malgré l'évolution des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs, plus de recherche et d'améliorations sont nécessaires notamment en raison des limitations en ressources, contraintes ergonomiques et critères médicaux stricts qui doivent être pris en considération. La mobilité est l'un des axes les plus importants offrant la possibilité d'être connecté partout et à tout moment et contribuant donc à l'amélioration du mode de vie des personnes surveillées. Cette dernière fera l'objet de l'étude présentée dans les prochains chapitres.

CHAPITRE 3

Le support de la mobilité et son impact sur les Systèmes de Surveillance Médicale à base de Capteurs

3.1 Introduction

En plus de diminuer les coûts, les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs visent aussi à améliorer la qualité de vie des personnes; pour cela, le support de la mobilité des personnes surveillées ainsi que le staff médical impliqué est important et doit être considéré. Les systèmes avec un tel support font partie du domaine du M-health permettant une surveillance médicale ambulatoire, non-invasive et continue [5]. Dans le M-health, les communications sans fil et l'informatique mobile sont utilisés et appliqués afin de délivrer les services de la santé, offrant la liberté de mobilité aux utilisateurs [55]. La surveillance d'activité des personnes âgées ou le suivi d'un traitement médical d'une personne en mobilité sont quelques unes des perspectives du M-health [56].

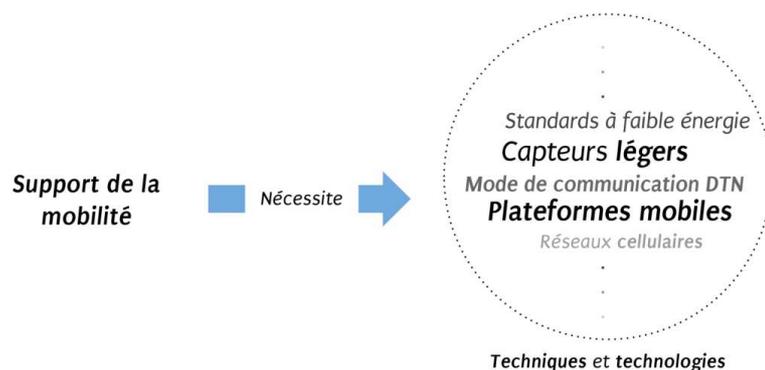


Fig. 8. Exemples de technologies et techniques permettant le support de la mobilité dans les systèmes de surveillance médicale

Malgré la progression explosive de l'informatique mobile et l'émergence de nouvelles technologies, dispositifs et applications sans fil notamment en raison de la volonté d'être connecté partout et à tout moment, allant en faveur de la flexibilité et mobilité des personnes et ainsi l'amélioration de leur mode de vie [6, 52], les besoins, problématiques et challenges dus à la mobilité de l'utilisateur, plus particulièrement au changement des informations contextuelles telles que les ressources disponibles et la localisation [57] restent toujours d'actualité; ces derniers combinant plusieurs axes de recherche nécessitent un certain nombre de techniques et technologies spécifiques dont les principaux sont revues dans ce chapitre.

3.1.1 Types of mobilité

La mobilité dans les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs peut être vue à partir de deux perspectives à savoir réseau et nœud (capteur) ; ces dernières conduisent à deux catégories de mobilité décrites comme suit :

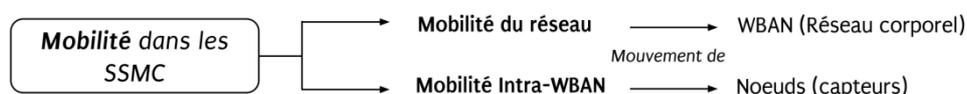


Fig. 9. Types de mobilité dans les systèmes de surveillance médicale

- (1) *Mobilité du réseau WBAN* [58, 59] : où l'ensemble du WBAN est en mouvement, i.e. la personne surveillée.
- (2) *Mobilité intra-WBAN* [60]: où chaque nœud (capteur) peut être en mouvement en raison des mouvements du corps humain.

3.1.2 Périmètre (scope) de mobilité

Sur la base de la zone de périmètre de déplacement de l'utilisateur, les applications de surveillance médicale peuvent être classifiées en deux principales catégories (Fig. 9) comme suit:

- (1) *Applications sensibles à la mobilité non-restreinte*: supportant une liberté complète de mouvement et déplacement de l'utilisateur i.e. ce dernier peut se déplacer en intérieur ou à l'extérieur sans aucune limite. Les applications d'auto-surveillance et de surveillance à distance en continue ou à la demande doivent généralement supporter ce type de mobilité.
- (2) *Applications sensibles à une mobilité délimitée*: où la mobilité de l'utilisateur est limitée en termes de zone ou périmètre de déplacement, tel que les applications de surveillance à domicile, dans une maison de retraite ou un hôpital, ainsi que dans le cas de la surveillance sur le lieu d'une catastrophe.

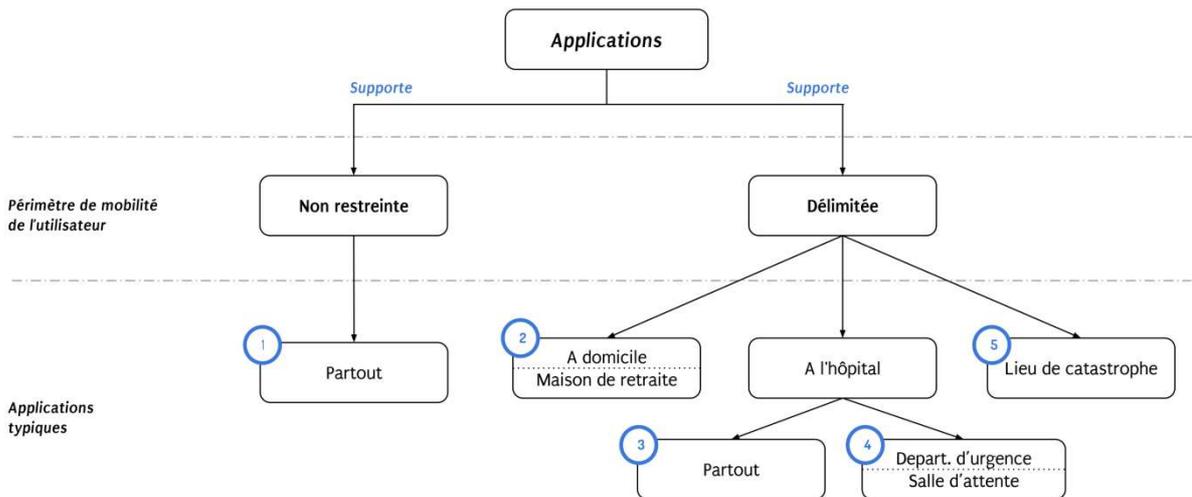


Fig. 10. Classification des applications de surveillance médicale basée sur le périmètre de mobilité

Les systèmes supportant une mobilité délimitée exploitent généralement les avantages offerts par les emplacements spécifiques pour lesquels ils sont destinés ; Etant donné que dans un système supportant une mobilité non-restreinte, les utilisateurs peuvent se déplacer entre différents endroits tel que leur domicile ou l'hôpital, il serait donc idéal d'avoir un système de surveillance médicale conçu d'une part pour supporter une mobilité non-restreinte, offrant la liberté de déplacement à l'utilisateur, et d'autre part, pour exploiter les avantages des différents endroits où l'utilisateur pourrait se retrouver. Dans cette perspective, comme cela sera détaillé plus loin dans ce document, ce travail

en plus d'étudier la mobilité en général, aborde en particulier l'environnement domestique de l'utilisateur et ses spécificités afin de prendre avantage de celui-ci, sachant que cet environnement peut être considéré comme emplacement typique et généralement totalement contrôlable et personnalisable.

Ci-dessous, une liste non exhaustive de projets populaires ainsi que d'autres récents de surveillance médicale à base de capteurs supportant la mobilité, présentée suivant la classification décrite précédemment.

Projet	Buts	1	2	3	4	5
Mobihealth [61]	Surveillance générique multi-usages	x				
PHM [62]	Suivi du bien-être des patients à haut risque cardiaque	x				
AID-N [63]	Surveillance lors des incidents à grand nombre de victimes ainsi que les situations d'urgence de tous les jours				x	x
CodeBlue [49]	Intervention d'urgence (pré-hospitalier, soins hospitaliers d'urgence, réhabilitation après un AVC, et l'intervention en cas de catastrophe)			x	x	x
MEDiSN [42]	Surveillance des patients à l'hôpital et lors des événements de catastrophes			x	x	x
HealthGear [64]	Multi-usages - surveillance, visualisation et analyse des signaux physiologiques	x				
Alarm-NET [26]	Surveillance résidentielle et vie assistée		x			
UbiMon [25]	Surveillance continue des états physiologiques des patients présentant des anomalies mortelles (détection et prédiction)	x				
AMON [34]	Surveillance médicale et système d'alerte (patients respiratoires et à haut risque cardiaque)	x				
LifeShirt [15]	Vêtement léger avec capteurs intégrés qui collectent continuellement des informations sur un ensemble de paramètres cardio-pulmonaires	x				
Mobihealthcare [46]	Suivi médical personnalisé multi-usages	x				
ViiCare [17]	Services de santé pervasives de haute qualité, avec des coûts réduits et un faible délai de livraison	x				

W. Zhang and al. [66]	Suivi discret et à long terme des patients à travers un système de télésurveillance évolutif et sécurisé	x				
J. P. Tello and al. [67]	Système de surveillance à distance pour les signaux électro-cardiographiques et de température	x				
smartPrediction [68]	Système intégrant les données des capteurs du Smartphone à une chaussure intelligente pour la détection des chutes	x				
J. E. García [69]	Système mobile de télésanté basé sur un réseau GSM commercial	x				

Tableau 8. Classification des projets de surveillance médicale à base de capteurs sur la base du périmètre de mobilité

D'autre part, il est à noter que la mobilité intra-WBAN doit toujours être considérée vu qu'un corps humain est toujours en mouvement indépendamment de l'application cible à l'exception de certains cas de personnes à mobilité réduite.

3.1.3 Applications avec support de mobilité ciblées par notre étude

Etant donné qu'un risque de santé ou une urgence peuvent arrivés à tout moment et n'importe où, une surveillance continue avec acquisition et analyse en temps réel [15] donnant la liberté à l'utilisateur d'être mobile et sans interrompre ces activités quotidiennes serait l'idéal. Un tel support de mobilité devrait différencier entre un environnement en intérieur plus particulièrement à domicile, et un environnement à l'extérieur, prenant ainsi avantage de chacun des deux. Par ailleurs, le segment inter-WBAN étant le plus influencé par la mobilité de l'utilisateur, la surveillance à distance est plus particulièrement considérée.

Cette étude vise donc à aborder et traiter la mobilité non-restreinte de l'utilisateur dans les applications temps réel offrant une surveillance partout et à tout moment, où les majeurs aspects relatifs comprenant technologies et mécanismes nécessaires sont revus. L'emplacement à-domicile est particulièrement considéré et ses avantages revus. De plus, comme les capteurs sont attachés à la personne qui est constamment en mouvement, cette étude en outre fait référence à la mobilité des nœuds décrite auparavant comme mobilité intra-WBAN, ainsi qu'aux mécanismes la supportant et nécessaires pour un accès continue et en temps réel aux données des utilisateurs [2, 70].

3.2 Mobilité non-restreinte: Spécificités et impact

Par conséquent, la mobilité revue dans cette étude inclut la mobilité intra-WBAN, ainsi que la mobilité de l'utilisateur. La première est généralement liée aux protocoles et communications de l'intra-WBAN, alors que la deuxième est typiquement liée aux protocoles et communications de l'extra-WBAN malgré que l'impact de celle-ci couvre aussi d'autres parties de l'architecture du système.

3.2.1 Environnements (emplacements) environnants l'utilisateur

Un utilisateur mobile peut être soit dans un environnement en intérieur ou à l'extérieur. Ceci conduit au changement du contexte environnant l'utilisateur.

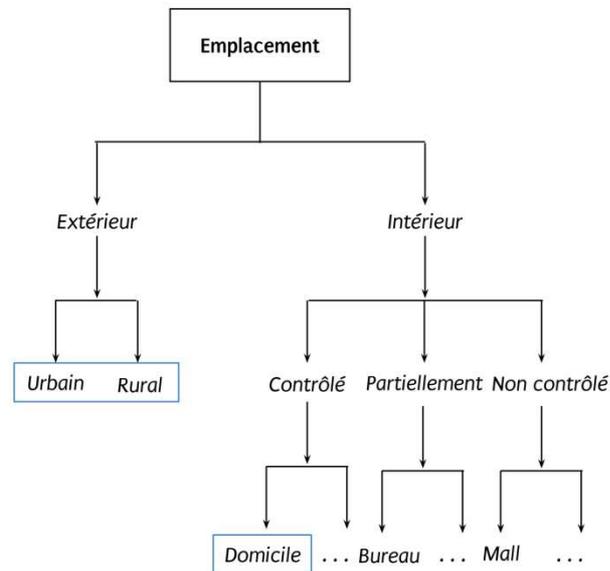


Fig. 11. Emplacements de l'utilisateur étudiés

En effet, que ce soit en termes de réseaux de communication ou en termes de capacités de capture (collecte), il est intéressant qu'un système de surveillance médicale en plus d'être conscient de son environnement actuel, d'adapter certains mécanismes comme la localisation.

Un utilisateur peut se déplacer entre différents environnements en intérieur tel que son domicile, son lieu de travail, un centre commercial, ...etc. Certains de ces emplacements sont totalement contrôlables tel que le domicile, ou partiellement contrôlable tel que lieu de travail, ou encore non contrôlable tel qu'une station de métro. La notion de contrôle dans ces environnements fait référence à la possibilité de déployer un matériel spécifique de capture ou de communication au sein de la zone couverte par ce dernier, tel que des capteurs ambiants ou un ordinateur personnel. Cependant, cette étude comme précédemment mentionné ne traite que la configuration à domicile comme environnement en intérieur.

3.2.2 Environnements étudiés : Spécificités et différences

En termes de capacités de capture, l'environnement à domicile permet le déploiement de capteurs ambiants dans la maison, pouvant largement contribuer à l'analyse de l'état de santé de l'utilisateur.

Du point de vue communication, et plus particulièrement la communication extra-WBAN, un environnement en extérieur repose généralement sur les réseaux étendus sans fil tel que GPRS et UMTS qui, pouvant être assez coûteux, pourraient par conséquent être plus utilisés pour les transmissions des données d'urgences ; un environnement en extérieur peut aussi reposer sur d'autres réseaux tel que dans les

zones WiFi publics si disponibles. En outre, une différence est à noter entre les environnements ruraux et urbains, où alors que les environnements urbains comprennent généralement une bonne couverture cellulaire et des points d'accès WiFi publics, les milieux ruraux sont généralement technologiquement moins couverts. D'autre part, l'environnement à domicile repose sur des réseaux de plus courte portée tel que les réseaux personnels et réseaux locaux sans fil (WPAN et WLAN); il est aussi possible d'avoir une combinaison de réseaux tel qu'un réseau personnel sans fil entre les capteurs corporels et les capteurs ambiants, avec un réseau local sans fil (WiFi) entre les capteurs ambiants et l'ordinateur personnel ou un hub domestique connecté à Internet ; les communications à domicile sont généralement moins coûteuses et donc peuvent être plus adaptées à la transmission des données normales.

Par ailleurs, la localisation est une importante fonctionnalité dans les systèmes de surveillance, réalisée généralement à l'aide du GPS dans les environnements en extérieur, tandis que dans un environnement en intérieur, d'autres mécanismes avancés s'appuyant sur des informations fournies par différentes technologies tel que les réseaux cellulaires ou WLAN sont utilisés.

A travers les spécificités et différences décrites ci-dessus, il s'avère opportun que les systèmes de surveillance médicale soient assez intelligents afin de différencier entre les environnements de l'utilisateur. Ceci permet par exemple au système de prendre avantage d'éventuelles infrastructures disponibles à domicile en termes de communications ou de capture, et de basculer entre un mode de transmission normal/d'urgence ou encore de basculer entre les mécanismes de localisation en intérieur et en extérieur.

3.2.3 Technologies permettant le support de la mobilité à l'extérieur

Les progrès technologiques récents dans le domaine des capteurs, de l'informatique mobile et des télécommunications ont permis le support de la mobilité dans les systèmes de surveillance médicale, dont le but est d'offrir la liberté aux utilisateurs et ne pas perturber leurs activités quotidiennes.

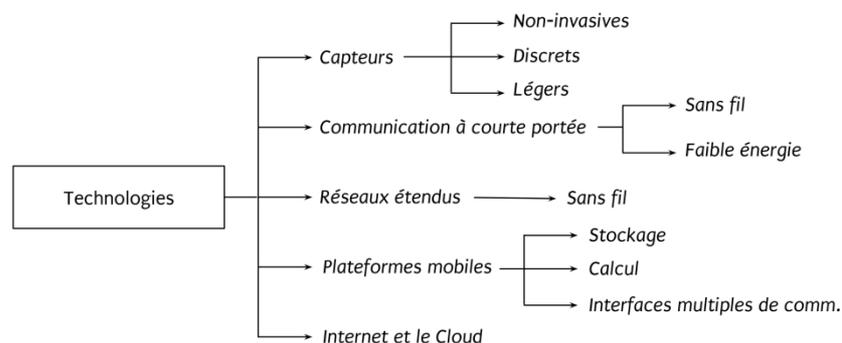


Fig. 12. Technologies permettant le support de la mobilité à l'extérieur

De plus, l'un des objectifs des systèmes de surveillance médicale à distance étant l'utilisation des technologies existantes déployées [56], deux de ces dernières sont

particulièrement intéressantes ; les Smartphones et tablettes en tant que station de base, et les réseaux cellulaires généralement utilisés pour les communications extra-WBAN.

Capteurs non-invasives, discrets et légers. Comme il a été décrit dans le premier chapitre, beaucoup de capteurs disponibles sont actuellement considérés comme discrets tel que les dispositifs portés au poignet permettant une surveillance sans perturbation des activités de l'utilisateur, ou encore les textiles intelligents (smart textiles) qui promettent une surveillance non-invasive. Par ailleurs, les nouvelles techniques de capture (collecte) telle que celle utilisée pour la glycémie et précédemment décrite, contribuent aussi à la non-invasivité. Une conception à faible consommation d'énergie comprenant des processeurs économes en énergie et des transmetteurs à faible consommation tel que ceux basés sur les technologies ANT ou BLE, permet aux capteurs de fonctionner pendant de longues périodes contribuant ainsi à la non-perturbation des utilisateurs [19, 66, 71].

Standards de communication sans fil à courte portée et à faible consommation d'énergie. Pour ce qui est des communications à courte portée plus particulièrement au niveau de l'intra-WBAN, les standards à faible consommation d'énergie contribuent au support de la mobilité tel que le 802.15.4 considéré comme adapté aux WBANS en raison de sa faible complexité et consommation [72] ou encore Bluetooth Low Energy qui est de plus en plus intégré aux plateformes mobiles. Dans [66], les auteurs se sont appuyés sur la technologie ANT qui a été mentionnée comme ultra-faible en consommation d'énergie et qui permet d'éviter à travers des Smartphones intégrant celle-ci, l'ajout d'un module supplémentaire comme c'est le cas pour Zigbee.

Réseaux étendus sans fil. Afin de supporter la mobilité de l'utilisateur ainsi que la commodité et l'omniprésence des services, les communications extra-WBAN doivent être sans fil [11], ce qui rend également possible les applications temps-réel et à distance pour le support des alertes immédiates en cas de danger [8, 70]. La technologie sans fil appropriée peut être choisie sur la base de différents critères de communication telle que la fiabilité, la sécurité, la portée, ...etc., toutefois étant donné que la plupart de ces derniers peuvent être assurés à l'aide de protocoles du niveau applicatif, le choix est essentiellement fait selon les besoins de la portée et de la vitesse [61]. Les WiFi publics, le WiMAX ou les réseaux cellulaires (GSM, UMTS, ...) sont de nos jours des réseaux largement disponibles pouvant être utilisés pour la surveillance médicale. Chaque réseau a ses avantages et ses restrictions, par conséquent, un utilisateur mobile pouvant être couvert par plusieurs de ces réseaux à un même moment, peut basculer entre ces derniers afin de prendre avantage de sa couverture [37]. Néanmoins, les réseaux cellulaires sont considérés comme le meilleur candidat dans les environnements en extérieur pour le support de la mobilité non-restreinte de l'utilisateur, en raison de leur large couverture et mobilité totale [73]. Les opérateurs Telecom offrent actuellement divers choix selon la qualité, le débit et le coût [56]. Cependant, le coût de ces réseaux est toujours rapporté comme étant considérablement élevé [4], à l'exception du réseau

2G/GSM dont le coût est rapporté comme étant assez bas mais qui peut être utilisé pour les applications nécessitant une bande passante relativement faible [3, 74]. Par ailleurs, bien que certains mentionnent que les réseaux cellulaires n'offrent qu'une connectivité à faible bande passante [73], il a été toutefois démontré à travers les essais du système Mobihealth que la surveillance à distance pour les cas non critiques était possible sur les réseaux 2.5G/GPRS et 3G/UMTS [45]. D'autre part, la 4G est vue comme un nouvel espoir pour réduire les coûts tout en permettant la surveillance médicale continue et pervasive dans un environnement en extérieur [1, 4]. Enfin, les points d'accès WiFi publics et communautaires ne sont pas à oublier, et peuvent largement améliorer la communication à distance en termes de débit et de couverture des utilisateurs mobiles tout en réduisant les coûts [56].

Plateformes mobiles. Les plateformes mobiles particulièrement celles dites intelligentes, sont une tendance populaire. Elles sont de plus en plus utilisées dans notre quotidien, offrant des ressources importantes en termes de calcul et stockage et permettant l'accès et l'exploitation de divers réseaux étendus. Les plateformes mobiles intelligentes supportent donc la surveillance en temps réel, partout et à tout moment [56]. En effet, les Smartphones devenus les plateformes de calcul les plus pervasives, ainsi que les tablettes et autres appareils mobiles intelligents, sont rapportés étant actuellement sans concurrent en raison de leur multiples capacités [56, 75]. Ces plateformes peuvent supporter plusieurs technologies sans fil tel que le Bluetooth, WiFi ou encore la 4G, et sont conçues avec des capteurs intégrés comme l'accéléromètre pour la mobilité et le GPS pour la localisation [57, 76]. Un Smartphone peut par exemple en cas d'urgence, utiliser la couverture cellulaire pour contacter une ambulance ou envoyer des messages aux soignants. Quand il n'y a pas de connexion, les données peuvent toujours être traitées et certains aspects relatifs à l'état de santé de la personne peuvent être déduits et fournis à ce dernier [11, 35]. Les Smartphones peuvent être aussi utilisés pour appliquer des algorithmes avec un taux de compression élevé, contribuant à la réduction des coûts et l'économie d'énergie [56]. Par ailleurs, les plateformes mobiles sont aussi intéressantes pour les docteurs, soignants, ainsi que la famille de la personne surveillée afin de suivre l'état de santé de cette dernière et lui donner des conseils, ainsi que gérer le réseau de capteurs comme la configuration des seuils et la périodicité des mesures, et ce, partout et à tout moment, à travers des applications spécifiques mobiles et web ou encore à l'aide de messages SMS via le réseau GSM [15, 77, 78].

Internet et le Cloud. La mobilité de l'utilisateur peut être supportée par Internet et le Cloud de différentes perspectives. En effet, de nos jours, le traitement et stockage devenant de plus en plus basés sur le Cloud, rendent les systèmes de surveillance médicale plus facilement et plus rapidement déployables et actualisables, moins coûteux, et indépendants des plateformes ; le beyond-BAN ou coté distant peut être imaginé come un Cloud médical ou Cloud mobile médical vu qu'il est utilisé pour augmenter les ressources locales des appareils mobiles ; D'autre part, le concept de Cloudlets est aussi intéressant ; ces derniers permettent de rapprocher les capacités du Cloud aux utilisateurs mais à petite échelle à travers des infrastructures simples tel qu'une simple station de travail ou plutôt complexes tel qu'un ensemble de serveurs physiques [79]. Le

stockage sur le Cloud à travers Internet contribue à la communication entre les différents acteurs du système et fournit un accès pervasif où les informations partagées sur Internet peuvent être considérées comme universellement accessibles et ainsi peuvent être atteintes à travers des applications web et mobiles partout et à tout moment [1, 80]. En effet, l'architecture basée service web est considérée comme le meilleur moyen d'implémenter les services distants. Elle permet de supporter des environnements hétérogènes incluant les plateformes mobiles, et offrant à travers les services web mobiles, la possibilité aux soignants d'être mobiles tout en gardant un œil constant sur les personnes surveillées [78].

Comme il a été vu pour les réseaux étendus sans fil, les différentes technologies rapportées ci-dessus ne sont pas sans lacunes ou inconvénients. Ci-dessous sont revus les principaux challenges et besoins relatifs à un tel support de mobilité.

3.2.4 Rappel sur les besoins et challenges relatifs au support d'une mobilité non-restreinte et les axes de recherche influencés

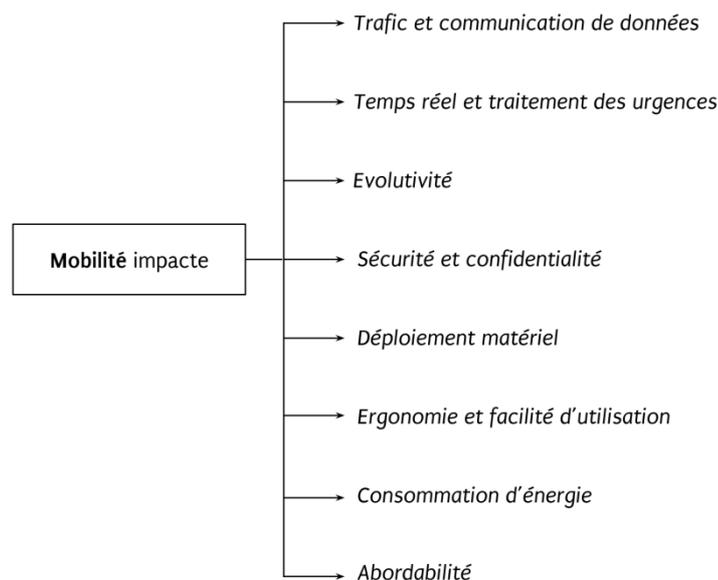


Fig. 13. Axes de recherche influencés par la mobilité

Les besoins et challenges pour le support d'une mobilité non-restreinte dans les systèmes de surveillance médicale sont divers, influant sur de multiples axes de recherche à savoir le trafic et la qualité de communication, le support du temps réel et traitement des urgences, l'évolutivité, la sécurité et confidentialité, le déploiement matériel, l'ergonomie et facilité d'utilisation, l'efficacité de consommation d'énergie, ainsi que l'abordabilité de ces systèmes.

La mobilité non-restreinte des utilisateurs, comprenant les personnes surveillées et autres acteurs des systèmes nécessite des mécanismes et méthodes afin de s'adapter à la qualité variante des communications [41] ainsi que répondre et assurer les besoins en qualité de service tel que le temps de latence qui, comme mentionné dans certaines

études, doit être inférieur à cinq secondes pour la livraison des données physiologiques de bout en bout [42]. De plus, l'utilisation de plateforme mobiles et des communications sans fil pour le support d'une telle mobilité, couplé à la sensibilité des données, entraînent le besoin d'un niveau élevé de sécurité et de protection de la confidentialité [22, 80].

Dans les environnements en extérieur, les réseaux cellulaires tels que GPRS ou UMTS sont souvent le seul moyen de communication disponible. Cependant, ces réseaux n'offrent qu'une couverture incomplète et sont plus conçus pour un trafic descendant que montant, alors que la surveillance médicale nécessite généralement plus de trafic montant pour le traitement à distance. L'un des inconvénients également rapporté pour ces réseaux et leur control total par les fournisseurs tel que le nombre maximum d'utilisateurs d'une station de base ou les débits des liaisons. D'autres technologies offrant un meilleur débit montant pourraient être utilisées tel que le WiFi ou Bluetooth mais celles-ci souffrent de leur courte portée [56] et sont donc non adaptées à de telles communications, sauf dans certains cas où des infrastructures spécifiques sont déployées tel que dans les zones WiFi publics. Un WBAN mobile dans le but de maintenir sa connectivité distante devra basculer entre différents points d'accès ou différents réseaux à l'aide de ce qu'on appelle des handovers. Ces derniers, afin de ne pas perturber les communications extra-WBAN, en particulier dans le cas de données ou notifications d'urgence, devront être effectués d'une manière intelligente et transparente [81].

Par ailleurs, l'utilisation des technologies sans fil engendre une autre problématique, liée au fait que beaucoup d'entre elles utilisent la bande de fréquence 2.4 GHz, entraînant différentes interférences [72]. Cette problématique est connue sous le problème de la coexistence pouvant être soit hétérogène faisant référence aux interférences entre différentes technologies sans fil, ou encore homogène faisant référence aux interférences entre différents émetteur-récepteur d'une même technologie [72].

D'un autre côté, le matériel utilisé devrait être adapté au support de la mobilité que ce soit du point de vue dimension et taille, ou encore des besoins en énergie. Afin de maintenir une surveillance continue sans perturber les activités quotidiennes des utilisateurs ; les équipements plus particulièrement les capteurs corporels doivent être discrets et optimisés en terme de dimension et consommation d'énergie, ce qui est considéré comme un challenge de conception [13, 66]. Les différents algorithmes et procédures opérant sur les capteurs et plateformes mobiles doivent aussi être optimisés afin de réduire la perte d'énergie [70].

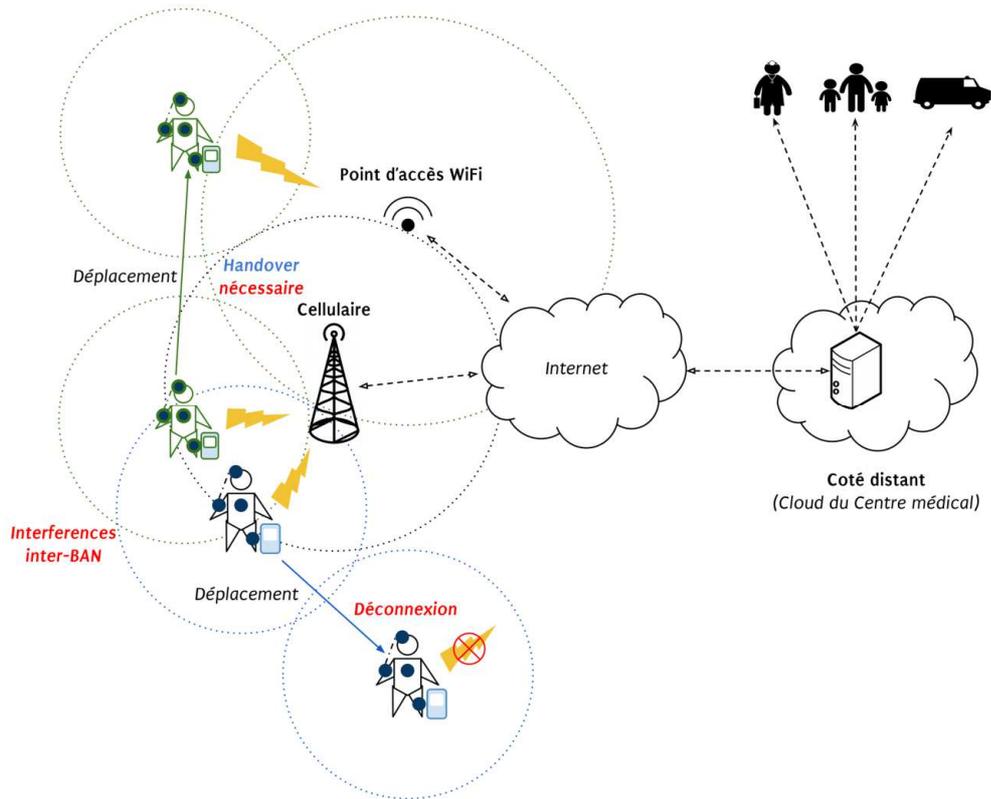


Fig. 14. Illustration de quelques challenges relatifs au support de la mobilité dans les WHMS

Une autre fonctionnalité importante liée à la mobilité est la localisation de l'utilisateur, plus particulièrement en cas de besoin d'aide immédiat [2]. Un système doit idéalement être capable de différencier entre les environnements, lui permettant de prendre les décisions appropriées selon l'emplacement de l'utilisateur tel que choisir le réseau de communication idéal ou le mode transmission le plus adapté, ainsi que de prendre avantage de chaque environnement tel que les capteurs ambiants dans l'environnement à domicile.

3.2.5 Les technologies avantageuses utilisées dans l'environnement à domicile

L'environnement à domicile peut être avantageux pour les systèmes de surveillance médicale de plusieurs façons. D'un point de vue capture et collecte de données, un réseau de capteurs ambiants (ASN pour Ambient Sensor Network) alimenté soit par batteries ou à partir du réseau électrique domestique peut être déployé dans la maison ; les informations collectées à l'aide de l'ASN peuvent être très importantes pour l'analyse de l'état de santé de l'utilisateur. D'autre part, le réseau de capteurs d'urgence (ESN pour Emergency Sensor Network) est aussi un important avantage dans l'environnement à domicile, fournissant des informations pertinentes sur l'entourage de l'utilisateur tel que le niveau de CO₂ ou les fuites de gaz, pouvant prévenir certaines catastrophes [15].

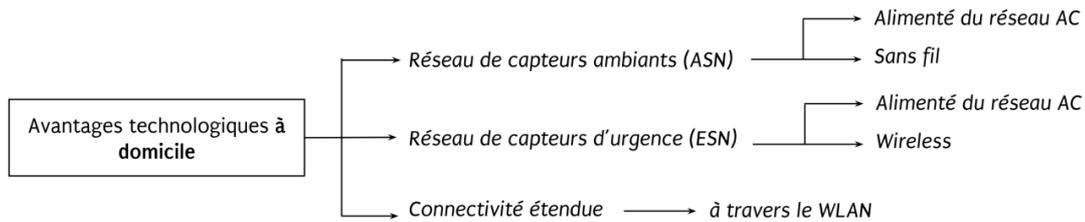


Fig. 15. Avantages de l'environnement à domicile en termes de technologies

D'un point de vue communication, les réseaux de communication à courte portée tel que Zigbee et Bluetooth ainsi que les réseaux locaux sans fil utilisés pour la connectivité Internet, sont les principales technologies utilisés à domicile pouvant fournir un accès à haut débit [73]. Les capteurs corporels dans ce cas, peuvent par exemple transmettre leurs données sans passer par la station de base mais plutôt à travers l'ASN jouant le rôle de routeur [82], ou bien à travers la station de base telle qu'un Smartphone via le WLAN domestique connecté à Internet ; dans les cas de données d'urgences, ces dernières peuvent être transmises directement à travers la meilleure connexion disponible telle que le GPRS [35].

Concernant la localisation, les mécanismes en intérieur peuvent s'appuyer sur l'ASN [82], ainsi que d'autres réseaux cellulaires. Une infrastructure spéciale de localisation peut être déployée à l'aide de WiFi, Bluetooth ou autres technologies de courte portée.

L'importance de la différenciation entre environnements est dans ce cas manifeste étant donné qu'un utilisateur mobile peut être à n'importe quel moment dans son domicile. En somme, les avantages de l'environnement à domicile peuvent être exploités pour des résultats et décisions médicaux plus précis, pour la localisation en intérieur, ainsi que pour optimiser la connectivité en termes de rapidité et de coût.

3.2.6 Mécanismes clés pour le support d'une mobilité non-restreinte de l'utilisateur

L'une des principales préoccupations liée au support de la mobilité dans les systèmes de surveillance médicale est le maintien de la connectivité et qualité de service (QoS) à un niveau suffisant répondant aux besoins de l'application [78, 81, 83]. De plus, de tels systèmes reposant sur des technologies sans fil, l'énergie et le coût sont des critères importants à considérer, où plus la consommation d'énergie est optimisée, plus la surveillance peut durer et le confort de l'utilisateur augmenter, tandis que la rentabilité offre une plus large accessibilité au système.

A travers les différents challenges, axes de recherche impliqués, ainsi que les technologies permettant le support de la mobilité que ce soit en environnement intérieur ou extérieur, et dans le but de faire face à ces problèmes, un nombre de mécanismes clés contribuant à ce support et considérant le contexte peuvent être identifiés. Ces derniers sont décrits et discutés ci-après.

- **Handover**

Handover ou transfert réseau est un mécanisme décisionnel sensible au contexte contribuant à la transparence de la gestion de mobilité. Ce dernier vise au support d'un accès continu de l'utilisateur mobile par le maintien de la connectivité à travers le basculement entre différents points d'attachement que ce soit au sein d'un même réseau ou entre différents réseaux.

Le moment exact pour effectuer un tel mécanisme est considéré comme l'un des challenges les plus difficiles malgré que différentes métriques ont été proposées pour l'estimation du meilleur moment [52, 70]. De plus, un handover doit être effectué rapidement et de manière transparente, de façon à maintenir la connectivité tout au long du processus et jusqu'à sa fin [70].

Divers paramètres sont utilisés pour effectuer les handovers, le plus utilisé est le RSSI (Received Signal Strength Indication) mesurant l'intensité du signal reçu [70, 81]. Un handover est effectué soit suivant la meilleure valeur du RSSI ou bien en paramétrant un seuil suivant lequel la décision sera prise, dans le but de minimiser le nombre de handovers.

Cependant, étant donné que les interférences de l'environnement influent sur le RSSI entraînant des valeurs variantes, des décisions de handovers inutiles peuvent être effectuées si le processus ne repose que sur ce paramètre. Pour cela, d'autres paramètres sont utilisés et corrélés avec le RSSI afin d'améliorer la précision de la décision [70, 81].

Les paramètres qui peuvent être évalués et utilisés dans les décisions de handovers incluent (1) La qualité du lien (LQI pour Link Quality) mesurant la qualité des messages reçus. Comme pour le RSSI, la LQI calculée de la même manière, peut aussi varier en raison des interférences ; (2) La vitesse (vitesse), corrélée avec le RSSI et la LQI ; (3) Direction du mouvement, qui peut être un paramètre important pouvant permettre d'anticiper la recherche et la prédiction de points d'accès (AP pour Access Point) si connus ; (4) Position globale, adaptée aux environnements en extérieur permettant à l'aide du GPS et en connaissant les emplacements des points d'accès du réseau, de prendre la décision de handover directement selon la position de l'utilisateur par rapport aux positions des APs environnants.

Ces paramètres et d'autres tel que la bande passante, la consommation d'énergie ou le coût sont pris en considération par les algorithmes de décision afin de choisir le meilleur point d'attachement radio (PoA pour Point of Attachment) pour une meilleure transmission. Il est aussi important pour les algorithmes de décision d'être sensibles au contexte actuel, étant donné que le système peut apprendre à travers ces algorithmes afin de baser la décision du handover pour chaque emplacement connu sur son état de communication et les anciennes décisions effectuées [37].

Il est aussi à noter que dans les systèmes supportant la mobilité et s'appuyant sur des appareils à base de batteries, les mécanismes de handover doivent être développés avec une vision de faible consommation d'énergie. Ceci peut être réalisé par exemple en limitant le nombre de handovers au strict minimum nécessaire, et minimiser les messages échangés requis dans un tel processus, ainsi qu'optimiser les calculs [70].

On parle de handover de micro-mobilité / macro-mobilité dans le cas de basculement entre points d'attachement d'un même domaine réseau ou différents domaines réseau [84]. Dans le cas de micro-mobilité, le processus de dissociations et association s'effectuant sur le 2^{ème} couche OSI, la même adresse IP du nœud est maintenue [70, 84]. On utilise aussi les termes handover horizontal/vertical pour distinguer entre les transitions à travers des technologies réseaux homogènes ou hétérogènes [58].

La macro-mobilité est caractérisée par le mouvement des nœuds (utilisateurs) entre différents réseaux. En effet, d'une part il est nécessaire d'essayer d'établir une connexion avec un autre réseau disponible si la connectivité du premier est perdue, alors que d'autre part, il est aussi intéressant de prendre avantage de la couverture réseau disponible en basculant vers le meilleur selon le contexte et autres besoins tel que l'économie d'énergie, sachant que par exemple la consommation d'énergie pour le transfert de données dans les réseaux cellulaires est plus importante que dans un WLAN [80].

Ce basculement ou déplacement entre différentes technologies d'accès radio (RATs pour Radio Access Technologies) est supporté par des handovers devant être effectués de manière transparente et intelligente prenant en considération le contexte actuel, afin de maintenir une connectivité continue et de choisir le meilleur réseau disponible selon les besoins [52, 70]. Une décision de handover intelligente et sensible au contexte doit être basée, en plus du RSSI, sur d'autres paramètres tel que le type de trafic (normal, urgence, ...), la bande passante minimale et délai requis, l'état de la batterie, la puissance de transmission et les préférences de l'utilisateur, permettant ainsi un basculement automatique entre les réseaux selon les capacités et besoins [52, 81].

- **Prise en charge de la connectivité intermittente**

En raison de sa mobilité et des obstacles rencontrés, un utilisateur peut à n'importe quel moment sortir ou perdre sa couverture réseaux, caractérisant ainsi sa connectivité d'intermittente. Parce qu'une rupture temporaire de connectivité peut entraîner la perte de données, il est nécessaire de basculer vers un schéma de communication basé sur un stockage intermédiaire de sorte à ce que les données puissent être stockées localement sur la station de base si aucune connexion n'est disponible, puis remontées aux stations distantes une fois la connexion rétablie [56, 76]. Dans cette perspective, le mode de communication DTN (Delay-Tolerant Networking) supporte les ruptures de connectivité des liens à travers le schéma "Store, Carry and Forward" ; ce mode, qualifié en tant que communication opportuniste faisant référence à l'exploitation opportuniste des liens radios une fois disponibles, est intéressant à l'utilisation pour la surveillance médicale continue avec support de mobilité comme il a été montré dans [56].

Par ailleurs, en plus du stockage local, le traitement local contribue aussi dans le support de la connectivité intermittente en permettant l'analyse des données collectées et de fournir à l'utilisateur des informations pertinentes au sujet de son état de santé sans être connecté en permanence [11].

Enfin, il est aussi à noter que dans le cas d'une communication intermittente, des traitements additionnels côté serveurs distants en raison des transmissions distantes

doivent être effectués afin de traiter les messages et information reçus, et ce, en terme d'ordonnancement des événements, datation, ...etc. [15].

D'autre part, la connectivité intermittente peut être aussi mitigée en augmentant la connectivité à l'aide de l'extension de la couverture sans fil si la coopération du nœud avec son voisinage est possible [85].

- **Traitement de la coexistence**

Le problème de coexistence faisant référence aux interférences causées par le chevauchement des plages entre les réseaux sans fil est une sérieuse problématique pouvant conduire à la perte de données médicales. Les deux catégories de coexistence homogènes et hétérogènes décrites précédemment, peuvent être soit statiques dans le cas de nœuds non mobiles, ou bien dynamiques dans le cas de nœuds mobiles. La dernière plus particulièrement, en prenant en considération la vitalité des données, requière la conception et implémentation de mécanismes de détection [86] et mitigation [87] des interférences de coexistence ; ces mécanismes doivent donc permettre d'offrir une fiabilité de transmission des données médicales critiques des utilisateurs [72].

Diverses méthodes peuvent être utilisées afin de mitiger les effets de la coexistence. Les WBANs basé sur IEEE 802.15.4 par exemple sont affectés en termes de collisions des beacons et de données [72] ; une étude des méthodes pour la coexistence entre IEEE 802.11 et IEEE 802.15.4 est présentée dans [88] comme il a été rapporté dans [72]. Dans [89], les mécanismes de coexistence hétérogènes sont classifiés en trois catégories basés sur l'architecture du mécanisme (MCA pour Mechanism Architecture) à savoir centralisé, coordonné, et autonome. Alors qu'il est rapporté dans [72] que la coexistence homogène pouvait être abordée soit à travers des méthodes centralisées ou encore distribuées. A souligner qu'il a été noté que jusqu'à présent, les standards actuels n'ont pas encore correctement traité le problème de coexistence entre les WBANs et autres réseaux environnants sur la même bande [90].

- **Localisation**

L'une des plus importantes fonctionnalités à activer pour les utilisateurs mobiles est la localisation. En effet, un utilisateur étant mobile plus particulièrement les personnes âgées doivent toujours être traçables en temps réel de sorte à ce que si une urgence se produit et est détectée, l'utilisateur peut être immédiatement localisé et trouvé [78].

Les environnements en intérieur et extérieur diffèrent en termes de mécanismes de localisation. Les méthodes en intérieur s'appuient sur différentes techniques tel que la localisation basée sur WLAN à l'aide de RSS dont la précision est de 1 à 5 mètres ; une étude sur les techniques de localisation en intérieur est présentée dans [91] comme il a été rapporté dans [3] ; les algorithmes de localisation en intérieur peuvent aussi s'appuyer sur différentes infrastructures sans fil tel que les réseaux de capteurs ambiants (ASN, Ambient Sensor Network) ou encore les réseaux de capteurs multimédia sans fil (WMSN, Wireless Multimedia Sensor Network) rapporté pouvoir fournir plus d'information en comparaison aux réseaux de capteurs sans fil classiques [83]. D'autre part, dans un environnement en extérieur, le GPS est généralement utilisé. Cependant,

afin de supporter une mobilité non-restreinte, un système de surveillance médicale doit implémenter un mécanisme hybride de localisation comme celui présenté dans [76] où dans les emplacements non couverts par le GPS, les identificateurs de région du réseau cellulaire sont utilisés tel que le code du pays (Mobile Country Code, MCC), le code du réseau (Mobile Network Code, MNC), le code de la région (Location Area Code, LAC) et l'identification de la cellule (Cell Identification, CI).

- **Schémas de transmission pour la rentabilité et l'économie d'énergie**

A la différence d'une surveillance à domicile ou une maison de retraite, généralement reposant sur des communications WLAN, ainsi que permettant la recharge à tout moment des appareils mobiles, la surveillance continue d'un utilisateur mobile dans un environnement en extérieur peut être assez coûteuse reposant dans beaucoup de cas sur les réseaux cellulaires et n'offrant pas la possibilité de recharge des appareils à tout moment. Pour cela, et dans le but de réduire les coûts autant que possible et économiser l'énergie, des solutions basées sur l'adaptation de schéma de transmission existent. La station de base peut par exemple implémenter la capacité de reconnaître les données d'urgence de celles qui sont périodiques, et ainsi activer la transmission seulement dans les cas d'urgences, tout en maintenant les données périodiques en local ce qui pourrait nécessiter une large capacité de stockage [4]. Dans [4] par exemple, il est question d'un schéma de transmission périodique qui transmet les données stockées localement seulement si l'utilisateur est dans une couverture WLAN, ce qui est un choix moins coûteux. Dans [57], les auteurs ont proposé un système supportant deux modes, un mode proactif où les données sont transmises en continue, et un mode réactif, où les données sont transmises seulement dans le cas d'événements spécifiques tel que le dépassement d'un seuil ou une requête d'un docteur. D'autres exemples de l'utilisation de seuils est CEMob [92] ainsi que le système proposé dans [76] où pour chaque collecte (capture), l'information actuelle collectée est comparée avec l'ancienne et la transmission est effectuée seulement si une variation est observée, ceci permet d'économiser l'énergie en évitant les transmissions répétées ; cependant, il est rapporté dans [80] que décharger la station de base du traitement et calcul permet quelquefois d'économiser l'énergie dans le cas par exemple de tâches gourmandes en ressources ; un système de prise de décision doit donc être utilisé afin de déterminer s'il est économique d'effectuer les traitement en local ou de les transmettre. Enfin, il est aussi à noter que l'utilisation et paramétrage de telles solutions dépendent des besoins des applications ciblées.

3.2.7 Rappel des axes de recherche relatifs au support de la mobilité intra-WBAN

A la différence des autres réseaux de capteurs, un WBAN est généralement caractérisé par une mobilité élevée et aléatoire étant donné qu'un corps humain est typiquement constamment et de manière non prédictible en mouvement [2, 53, 93]. En raison de la petite échelle de tels réseaux, tout mouvement pourrait provoquer la réorganisation topologique et chaque posture ainsi que mouvement dans une certaine posture

influencent sur cette dernière [53, 93] ; D'autre part, les mesures peuvent aussi être fortement perturbées par les mouvements [3]. Une telle mobilité influence essentiellement les communications de l'intra-WBAN.

La mobilité posturale est considérée comme l'un des principaux challenges de conception de protocoles de routage [92]. Le changement constant de distance entre les capteurs peut provoquer des connexions et déconnexions fréquentes des liens et ainsi de sérieux problèmes de partitionnement topologique, rendant la conception de protocoles de routage très difficile dans de tels réseaux appelés DTN (Delay Tolerant Networks i.e. Réseaux tolérants au retard) [20]. La table de routage distribuée nécessite typiquement quelque secondes pour converger ce qui ne correspond pas à la vitesse de mouvement du corps humain [53]. De plus, les mouvements peuvent aussi avoir un sérieux impact sur le signal reçu [47], même étant petits et involontaires provoquant l'évanouissement du signal en raison de l'affaiblissement de propagation [48, 92].

3.2.8 Principales technologies et mécanismes pour le support de la Mobilité Intra-WBAN

Les progrès technologiques particulièrement en termes de capteurs contribuent dans le support de la mobilité intra-WBAN. Les électrodes incorporées dans une structure de textile par exemple, étant tissées dans les vêtements et ne provoquant pas de problèmes de peau, sont une solution confortable et adaptée à la surveillance à long terme. Cependant, bien que ces dernières soient considérées comme flexibles et pouvant s'adapter aux mouvements de l'être humain [19], il est rapporté qu'il n'y a pas de garantie que les électrodes restent solidement en place avec ces mouvements ; pour cela, une bande élastique et velcro par exemple ont été proposés permettant la pression entre la peau et l'électrode pour une meilleure solidité [8].

Par ailleurs, certains standards de communication abordent aussi la mobilité intra-WBAN. Durant les dernières années, le standard 802.15.6 d'IEEE définissant les couches MAC et physique a été conçu pour supporter des débits atteignant les 10Mb/s considérant les mouvements du corps tout en étant extrêmement faible en consommation d'énergie [12, 56].

D'autre part, les protocoles MAC et de routage sont importants pour le support des mouvements du corps humain ; plus de protocoles MAC spécifiques aux WBANs nécessitent d'être conçus pour supporter la mobilité des nœuds pouvant conduire à la variation de la taille, densité et topologie du réseau. Les protocoles MAC basés CSMA semblent être les plus adaptés à ces changements, particulièrement MD-SMAC qui combine un cycle de vie dynamique à une fréquence adaptative pour la découverte de voisins afin de supporter la mobilité [41, 47].

Concernant le routage, le protocole efficace en termes d'énergie proposé dans [92] par exemple a été conçu pour considérer la mobilité posturale et utilise un routage dynamique où le transfert de données à travers des nœuds intermédiaires est exploité en cas d'une transmission normale, alors qu'un lien direct est plutôt utilisé en cas d'urgence ou

problèmes des intermédiaires ; de plus, les routes et la portée de transmission sont choisies selon les changements dans le réseau tel que ceux dues à la mobilité des bras.

Dans une autre perspective, d'autres méthodes basées sur des algorithmes peuvent aussi contribuer au support de la mobilité intra-WBAN tel que celle décrite dans [20], utilisant les données de l'accéléromètre et se basant sur la reconstruction de l'angle de mouvement causée par la respiration ; cette méthode implémente une détection précise de la respiration malgré les interférences provoquées par les mouvements du corps.

3.3 Conclusion

Le support de la mobilité des personnes surveillées est une importante fonctionnalité dans les systèmes de surveillance médicale pouvant contribuer activement à l'amélioration de leur qualité de vie.

Cependant, du fait de ses spécificités et son impact, la mobilité présente un certain nombre de besoins et challenges et ce, à différents niveaux, nécessitant des mécanismes et technologies spécifiques contribuant à sa prise en charge. Les principaux besoins et challenges ainsi que moyens de support de la mobilité ont été revus dans ce chapitre.

Le chapitre suivant schématise plus en détail la conception des systèmes de surveillance médicale avec prise en charge de la mobilité en abordant le support de cette dernière d'un point de vue conceptuel et contextuel, à travers l'étude des besoins de conception en termes de mécanismes et technologies présentés ainsi que leur corrélation avec le contexte de l'utilisateur.

CHAPITRE 4

Framework de conception pour le support de la mobilité non-restreinte dans les Systèmes de Surveillance Médicale à base de Capteurs

4.1 Introduction

En examinant la littérature, il s'avère qu'un nombre d'études de recherche et propositions abordent ou incluent le support de la mobilité dans les systèmes de surveillance médicale. Cependant, au mieux de notre connaissance, aucune de ces études n'aborde le support de la mobilité d'une perspective décrivant les besoins, exigences et mécanismes impliqués, ainsi que leur corrélation avec le contexte de l'utilisateur. Certains abordent un besoin ou mécanisme spécifique tel que le handover, ou la coexistence, d'autres incluent dans leurs travaux certains aspects de support de la mobilité tel que dans les propositions de systèmes, alors que quelques études décrivent certains des aspects de support de la mobilité.

Dans [3], les auteurs proposant un framework de comparaison de systèmes de surveillance médicale, ont considéré la mobilité des patients à travers l'aspect de communication sans fil étant donné que la mobilité est dite être supportée au maximum à travers les technologies de communication sans fil. Les auteurs d'une étude [41] des besoins des systèmes de surveillance médicale, ont considéré le support de la mobilité à travers les techniques d'adaptation des routes brisées et la qualité fluctuante des liens de transmission. Dans [79], le support de la mobilité a été abordé à travers des communications rentables par commutation entre réseaux disponibles selon la localisation de l'utilisateur ainsi qu'à l'aide de la mise en mémoire tampon avec transmissions différées afin de traiter la connectivité intermittente. D'autres études et travaux de recherche ont abordé certains des mécanismes clés pour le support de la mobilité tel que le handover [52, 81], le traitement de la coexistence [72, 88, 89], le traitement de la connectivité intermittente [56] ou encore la localisation [91].

Ce travail étudie les principales techniques et technologies permettant la mobilité de l'utilisateur, en soulignant les besoins conceptuels des mécanismes clés, ainsi qu'en présentant un nombre de besoins technologiques et recommandations; le tout, prenant en considération les contraintes du contexte du patient, est schématisé et présenté sous la forme d'un framework de conception.

La mobilité de l'utilisateur, faisant partie du contexte de la personne surveillée, ne peut être isolée ; les techniques et technologies utilisées pour son support sont plutôt en étroite relation avec ce contexte. Les communications sont particulièrement influencées par la mobilité de l'utilisateur, notamment la transmission des données de ce dernier ; ainsi, tout moyen de support de la mobilité pourrait être dépendant du profil de données que ce soit en termes de fréquence, fiabilité ou n'importe quel autre contrainte de ce profil, comme cela sera décrit plus loin. En outre, l'emplacement de l'utilisateur est aussi un important paramètre sur lequel les moyens de support de la mobilité pourraient dépendre en termes d'infrastructures disponibles de communication et de collecte de données par exemple or encore de techniques appropriées adaptées à l'environnement.

Nous commençons tout d'abord par introduire une architecture multi-couches basée sur l'architecture populaire trois-tiers, dans le but de couvrir les majeurs aspects

conceptuels impliqués dans les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs. Cette architecture servira comme base à notre framework de conception.

En second lieu, nous étudions quelques principaux éléments du contexte du patient i.e. le profil de données et l'emplacement de la personne surveillée, et extrayons les différents contraintes contextuelles influençant sur les moyens de support de la mobilité. Les majeurs techniques et technologies sont aussi définies sous la forme de recommandations et besoins conceptuels notamment des mécanismes clés. Le framework de conception prendra aussi considération d'autres contraintes du contexte global relatif aux systèmes de surveillance médicale à savoir la sécurité, la consommation d'énergie et l'abordabilité.

Les techniques et technologies présentées sont corrélées avec les différentes contraintes puis superposées sur l'architecture multi-couches formant ainsi la proposition du framework.

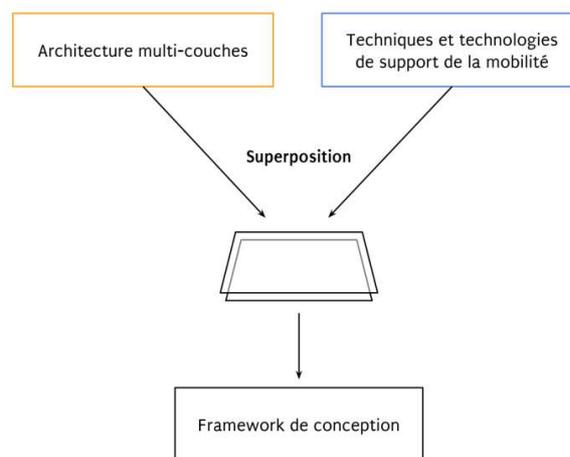


Fig. 16. Composition du framework de conception

Par conséquent, le framework proposé consiste en une architecture trois-tiers multi-couches représentant les aspects conceptuels clés des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs, où des recommandations ainsi que les mécanismes clés sont superposés et projetés par couche, tier et emplacements étudiés i.e. à domicile et à l'extérieur.

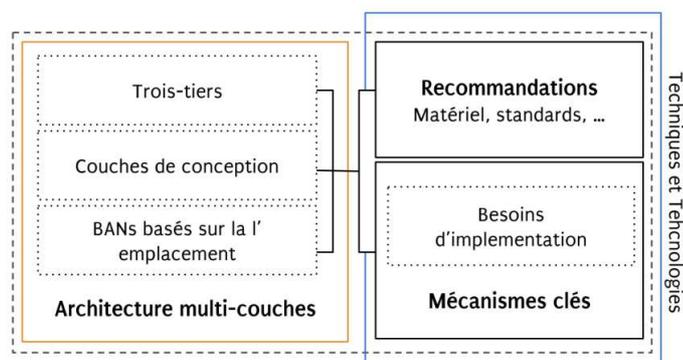


Fig. 17. Eléments du framework de conception proposé

Les différents éléments du framework décrits ci-dessous sont suivis par un schéma global synthétisant la proposition du concept du framework.

4.2 Architecture multi-couches

A partir des différentes techniques et technologies vues dans le premier chapitre, et en superposant l'architecture opérationnelle précédemment décrite sur l'architecture trois-tiers, une structure opérationnelle (voir Fig. 17) peut être schématisée, permettant de définir le champ d'opération de chaque sous-système.

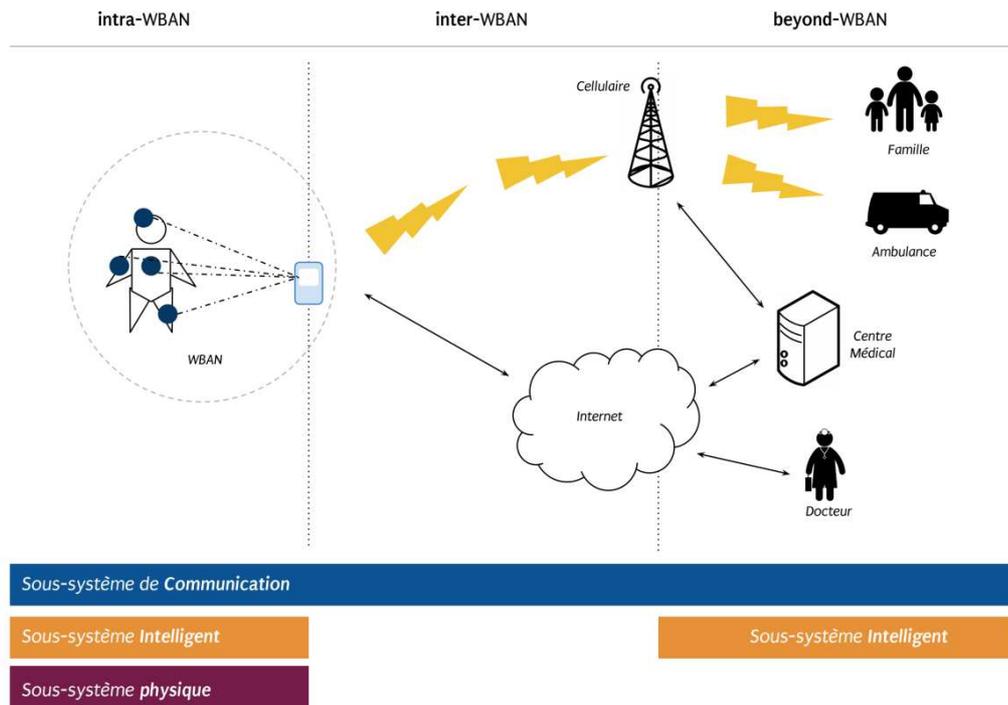


Fig. 18. Architecture opérationnelle trois-tiers

- *Le sous-système physique de capture* opère exclusivement au niveau du segment réseau intra-BAN et n'inclut que les nœuds capteurs.
- *Le sous-système intelligent* possède un champ plus large d'opération. Il est implémenté;
 - Sur les nœuds capteurs : pour le prétraitement et autres opérations de traitement local sur les nœuds tel que la reconnaissance d'activité ;
 - Sur la the station de base : pour des traitements locaux plus avancés selon les capacités et performances de la station de base, ainsi que le feedback immédiat même en cas de connectivité intermittente;
 - Sur le Back-End system pour plus de traitements et analyses avancés et à long-terme ainsi que le stockage des données des personnes surveillées et les résultats de leurs analyses.
- *Le sous-système de communication* opérant sur tous les segments, inclut les trois principaux composants de l'architecture en utilisant différentes technologies pour chaque segment.

Intégration des aspects de conception

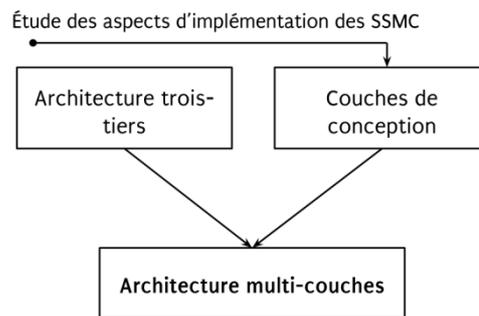


Fig. 19. Schéma de composition de l'architecture proposée

Cependant, comme précédemment décrit, les principaux blocks de construction ne représentent que la base des couches de conception à considérer dans les systèmes de surveillance médicale. D'un point de vue plus large, d'autres niveau en complément à ces derniers doivent être considérés afin d'avoir une vue complète de la façon dont ces systèmes peuvent être implémentés et mis en œuvre.

A partir des différentes informations recueillies dans le premier chapitre et dans le but d'avoir une vue claire des majeurs aspects à considérer dans la phase de conception, nous proposons de décrire un scénario typique de surveillance médicale à base de capteurs, comme suit :

- **Collecte de données** : Les données physiologiques et autres sont collectées à partir des capteurs de différents types, ces derniers étant la première source de données. D'autres moyens de collecte peuvent être utilisés tel que l'entrée manuelle d'information à l'aide de la station de base.

- **Traitement des données sur nœuds capteurs** : Les différents traitements sur nœuds (1^{er} niveau de traitement) sont effectués sur les données collectées tel que les techniques de débruitage (denoising) ou de compression des données. Certains algorithmes peuvent être utilisés afin de filtrer les données comme dans la reconnaissance d'activité utilisant le changement du profil d'activité, ou la génération d'alertes dans le cas où une mesure dépasserait un seuil limite.

- **Transmission des données** : Les données sont transmises vers la station de base, qui est en charge de la synchronisation des communications. Cependant, dans certaines architecture, les différentes données sont d'abord recueillies dans un appareil ou dispositif indépendant (qui peut être aussi un des capteurs) appelé puits, qui à son tour les transfère vers la station de base.

- **Traitement et analyse en local** : Au niveau de la station de base, les données peuvent être traitées d'avantage (2^{ème} niveau de traitement) à l'aide d'algorithmes plus avancés, où des informations cliniquement pertinentes peuvent être extraites et des déductions médicales ainsi que non médicales peuvent être tirées. Sur la base de ces résultats, la station de base peut afficher des informations pertinentes à l'utilisateur et dans le cas d'une détection d'urgence, générer des alertes à l'utilisateur ou à d'autres

contacts pouvant aider tel que la famille, les soignants ou des docteurs, et ce, directement ou à travers les serveurs distants ; pour les informations non médicales, la prise de décision pour la sélection du meilleur lien de connectivité en est un exemple. Par ailleurs, la station de base est aussi utilisée pour d'autres tâches telles que la vérification d'états des capteurs ou leur paramétrage.

- **Traitement et analyse distants** : Les données ainsi qu'éventuellement d'autres informations extraites sont alors transférées vers les serveurs distants pour des traitements et analyses plus complexes et à long terme (3^{ème} niveau de traitement) ainsi que pour le stockage des données et leur résultats d'analyse. Ces données peuvent aussi être directement transférées aux professionnels de la santé et la famille, de même que les alertes. Les données stockées, en plus d'être utilisées pour les fonctionnalités diagnostique et suivi médicaux des personnes telles que la génération d'alertes, l'envoi de feedback, la consultation à distance, ...etc., peuvent aussi être utilisées pour la recherche médicale future telle que la compréhension de l'évolution des maladies. A noter que le Back-End system peut aussi offrir d'autres services tels que le contrôle des capteurs à distance ou le paramétrage du système.

Nous croyons que ce cycle est typique pour beaucoup d'applications que ce soit pour la surveillance à l'hôpital ou environnement extérieur. Toutefois, ce cycle peut être bien sur adapté selon les besoins spécifiques et autres paramètres de la même manière que pour l'architecture du système. Le réseau ad hoc spontané précédemment décrit pour la recherche d'une aide immédiate à partir du voisinage en cas d'urgence est un très bon exemple d'une telle adaptation.

Couches de conception

A partir des principaux blocks de construction et en examinant les différents aspects d'implémentation précédemment discutés, ainsi qu'à travers le cycle de surveillance décrit, un nombre de niveaux impliqués dans la conception des systèmes de surveillance médicale peuvent être déduits et sont introduits ici comme proposition de couches de conception.

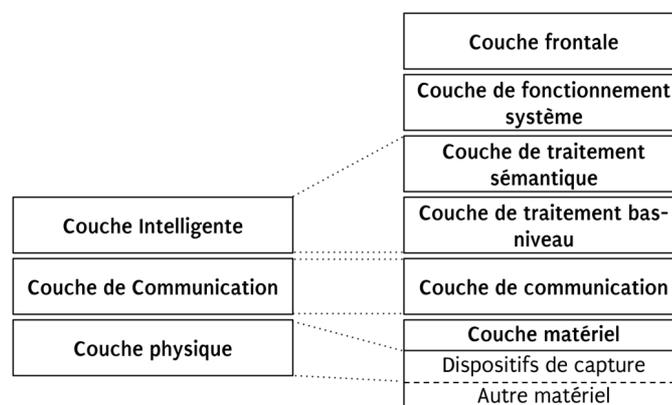


Fig. 20. Blocks de construction vs couches de conception

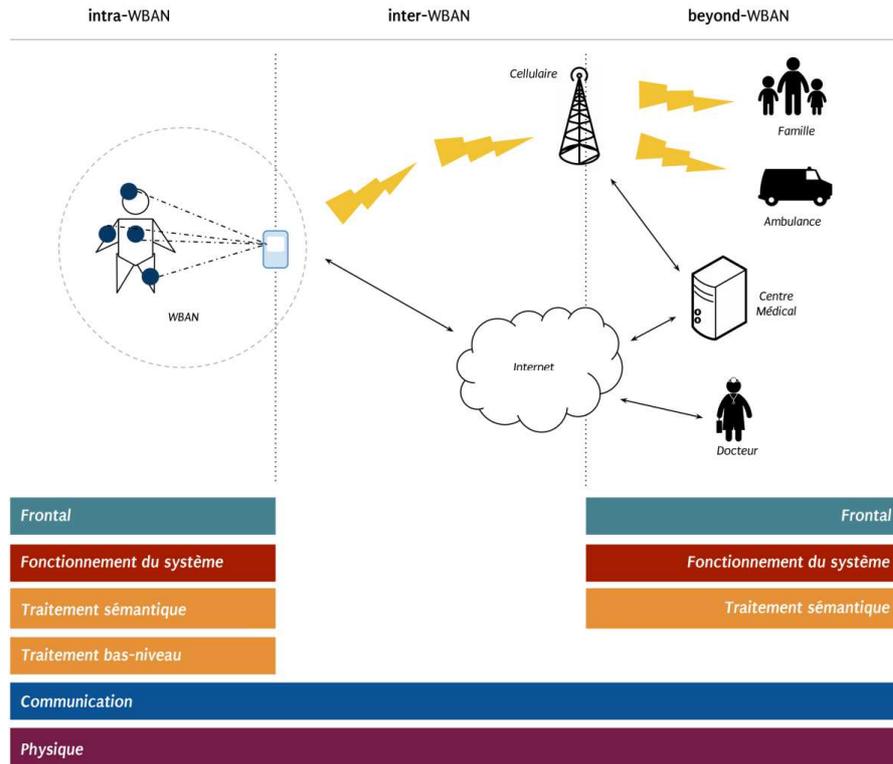


Fig. 21. Architecture trois-tiers opérationnelle globale

Par ailleurs, comme pour les building-blocks, les couches de conception introduites sont superposées sur l'architecture trois-tiers afin de schématiser une architecture opérationnelle globale où nous décrivons pour chaque tiers, les couches de conception impliquées.

1. Couche matérielle

Inclut les différents types de matériel utilisés dans le système;

- Au niveau de l'intra-BAN, principalement les nœuds capteurs et la station de base;
- Au niveau de l'inter-BAN, les différentes passerelles, relais et autre matériel permettant la communication entre l'intra-BAN et le beyond-BAN;
- Et au niveau du beyond-BAN, principalement les serveurs distants et autre matériel permettant de rendre accessible les informations médicales des personnes surveillées par les différents acteurs du système tel que les professionnels de la santé et les familles.

2. Couche communication

Inclut les standards, protocoles MAC, protocoles de routage et autres aspects permettant la communication à travers le système, et ce;

- Entre les nœuds capteurs ainsi qu'entre les capteurs et la station de base au niveau de l'intra-BAN;
- Entre l'intra-BAN et le beyond-BAN au niveau de l'inter-BAN;

- Et entre les différents composants du beyond-BAN notamment à partir desquels les informations médicales des utilisateurs sont accessibles.

3. Couche de traitement bas niveau

Inclut les différents mécanismes de traitement des signaux et données brutes i.e. sans analyse et extraction de données ; ces mécanismes incluent les techniques de débruitage (denoising), de compression, d'encodage/décodage, ...etc. Cette couche, implémentée seulement au niveau de l'intra-BAN, est équivalente au 1^{er} niveau de traitement vu dans le cycle typique de surveillance.

4. Couche de traitement sémantique

Inclut les différents mécanismes de traitement comme les techniques d'analyse de données, ...etc. dont le but est d'extraire des informations pertinentes en relation avec l'état de santé des personnes surveillées, ou encore des informations non-médicales tel que la connectivité de l'utilisateur ou son emplacement. Cette couche est équivalente au 2^{ème} niveau de traitement au niveau du l'intra-BAN et 3^{ème} niveau de traitement au niveau du beyond-BAN, alors que celle-ci n'est pas implémentée au niveau de l'inter-BAN.

5. Couche de fonctionnement du système

Inclut différents mécanismes non-centrés sur les données, permettant le fonctionnement du système ;

- Au niveau de l'intra-BAN, généralement les différentes procédures sur nœuds ou sur station de base tel que les algorithmes¹ d'authentification, de détection de défaillances et de vérification de l'état des capteurs, la personnalisation des paramètres des capteurs ou encore la génération d'alertes;
- Et au niveau du beyond-BAN, comme pour l'intra-BAN généralement différentes procédures comme pour l'authentification, la détection de défaillances et récupération, pour le stockage de données et applications possibles tel que la consultation à distance.
- La couche de fonctionnement du système n'est pas implémentée au niveau de l'inter-BAN.

6. Couche frontale

Inclut les différentes interactions entre les utilisateurs (patient, professionnels de la santé, ...etc.) et le système, comprenant les interactions et affichages nécessaires sur les nœuds capteurs et la station de base au niveau de l'intra-BAN tel que l'affichage d'informations relatives à l'état de santé de l'utilisateur, ainsi que les interactions et affichages nécessaires au niveau du beyond-BAN tel que les applications mobiles ou web pour le suivi de l'état de santé des personnes sous surveillance ainsi que le réglage des paramètres. La couche frontale n'est pas implémentée au niveau de l'inter-BAN.

¹ De tels algorithmes peuvent être classés sous la couche de traitement sémantique dans le cas d'utilisation de mécanismes d'authentification biométrique.

4.3 Contexte du patient: besoins conceptuels

Etant donné que la mobilité de l'utilisateur fait partie du contexte des personnes surveillées, les techniques et technologies la supportant ne peuvent pas être dissociées des contraintes de ce contexte mais sont plutôt en étroite relation. En effet, du fait que les communications particulièrement les transmissions des données des personnes surveillées soient sujet à être influencées par la mobilité, les techniques et technologies pour le support de cette dernière pourraient dépendre du profil des données transmises tel que la fréquence ou le besoin en terme de fiabilité. Par ailleurs, l'emplacement de la personne surveillée est aussi un important facteur sur lequel ces techniques et technologies pourraient aussi dépendre tel que les réseaux de communication disponibles, les infrastructures de capture ou les techniques de localisation appropriées adaptées à l'environnement actuel de la personne.

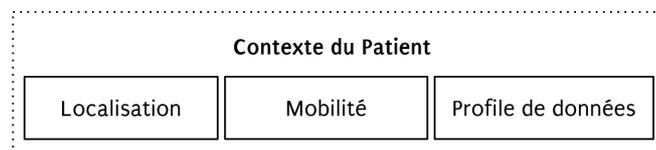


Fig. 22. Eléments du contexte du patient

Par conséquent, trois aspects majeurs et leur impact sont intéressants pour notre framework, à savoir (1) *la mobilité du patient* qui est la base des contraintes définissant les besoins conceptuels et mécanismes nécessaires, (2) *l'emplacement du patient*, ainsi que (3) *le profil des données à surveiller*, les deux derniers représentant les indicateurs de sélection et personnalisation des moyens de support de la mobilité.

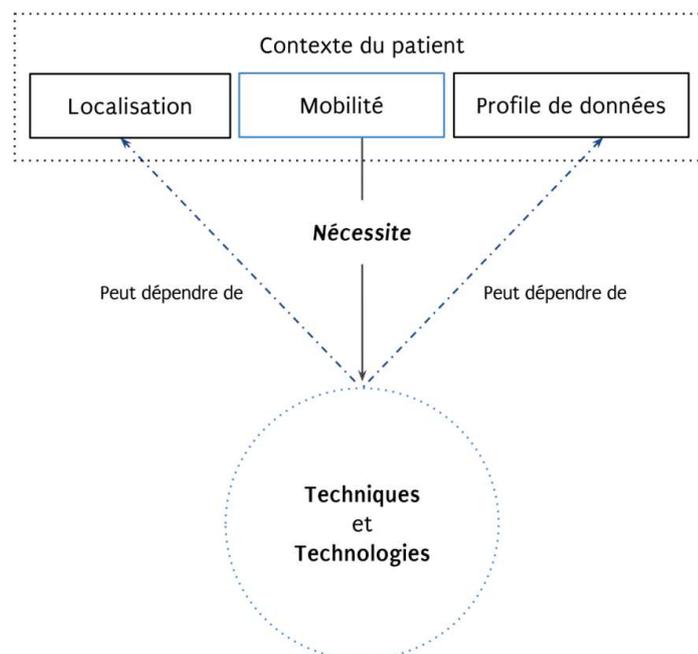


Fig. 23. Relation entre le contexte du patient et les techniques et technologies pour le support de la mobilité

D'autre part, les besoins et contraintes du contexte global des systèmes de surveillance médicale doivent aussi être pris en considération.

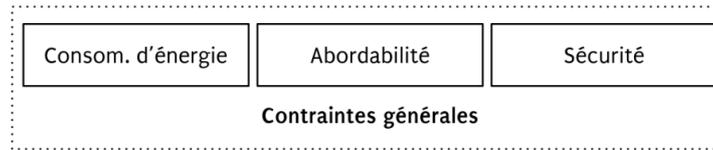


Fig. 24. Contraintes du contexte global

Trois de ces derniers sont particulièrement importants à prendre en compte, à savoir la consommation d'énergie pour une surveillance continue et à long terme, le coût de la solution ou l'abordabilité pour un accès large au public, et la sécurité étant donné qu'il s'agit de données et informations sensibles.

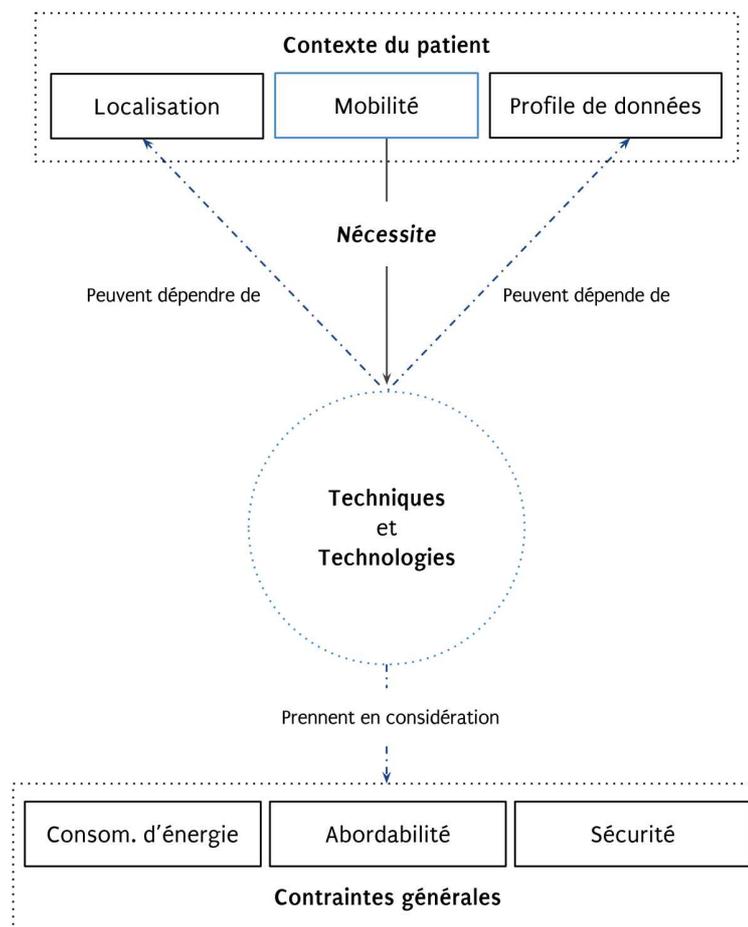


Fig. 25. Relation entre les contraintes des contextes et les techniques et technologies pour le support de la mobilité

4.3.1 Profil des données surveillées

Avant de passer au différents besoins conceptuels et mécanismes utilisés afin de supporter la mobilité non-restreinte dans les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs, il est intéressant d'explorer le contexte de la personne surveillée en terme de

données collectées, lequel nous croyons être l'un des plus importants aspects pour la personnalisation du matériel, des standards ou des mécanismes à utiliser.

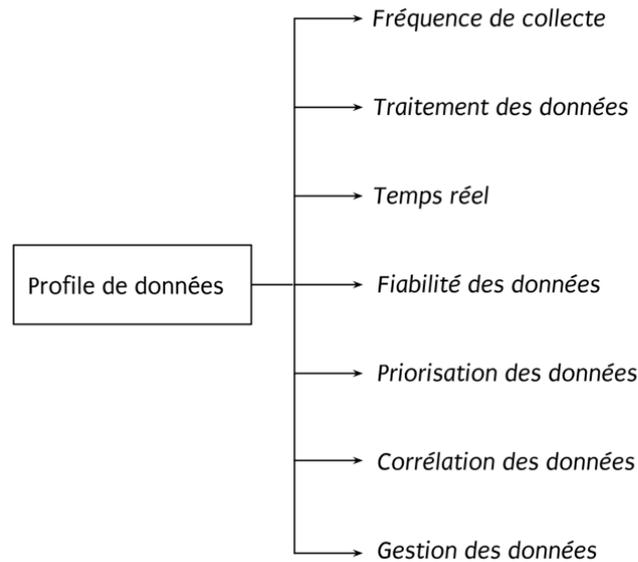


Fig. 26. Contraintes du profil de données

En examinant le profil des données du patient à travers la littérature, nous proposons de définir l'ensemble suivant de contraintes du profil de données :

- 1/ *Besoin en terme de fréquence de collecte de données (Data collection Frequency requirement, **DF**)*, définissant la fréquence avec laquelle les données doivent être collectées en terme d'intervalles de temps de capture [15, 48, 76].
- 2/ *Besoin en terme de traitement des données (Data Processing requirement, **DPC**)*, faisant référence au besoin d'une certaine donnée d'être traitée ou non (utilisée directement) ainsi que la nature du traitement devant être effectué [20, 94].
- 3/ *Besoin en terme de temps réel (Real-Time requirement, **RT**)*, définissant si une donnée spécifique doit être livrée et/ou traitée en temps réel ou bien est-elle tolérante au délai [6, 94].
- 4/ *Besoin en terme de fiabilité des données (Data Reliability requirement, **DR**)*, faisant référence au besoin en terme de qualité de la donnée i.e. si une donnée spécifique est tolérante aux pertes et/ou erreurs [41, 47].
- 5/ *Besoin en terme de priorisation des données (Data PRioritization requirement, **DPR**)*, où certaines données ou alertes pourraient être plus critiques que d'autres, et ainsi devraient être plus prioritaires que les données normales de routine tel que dans les cas d'urgences où certains signes vitaux deviennent plus sensibles, de même que les alertes [15].

6/ *Besoin en terme de corrélation des données (Data Correlation requirement, DC)*, conduisant au besoin de synchronisation entre certaines données, si ces dernières sont d'une certaine manière associées et/ou nécessitent d'être combinées [15, 20].

7/ *Besoin en terme de gestion des données (Data Management requirement, DM)*, définissant si les paramètres d'une donnée surveillée sont fixes et configurés qu'une seule fois, ou bien sont gérables tel que le réglage des seuils, l'activation/désactivation de la surveillance de certaines données, ...etc. [15, 27].

Nous croyons ainsi que répondre à ces contraintes de profile de données selon la personne ciblée, contribue à la sélection et personnalisation des besoins conceptuels et mécanismes relatifs à la mobilité non-restreinte comme cela sera décrit plus loin.

4.3.2 Mobilité non-restreinte de l'utilisateur

A travers l'étude du support de la mobilité non-restreinte, étant l'aspect de départ fondamental du contexte de la personne, un nombre de besoins conceptuels, en plus des mécanismes précédemment décrits, peuvent être distingués. En outre, chacun de ces mécanismes sera brièvement décrit sous la forme d'ensembles de besoins conceptuels.

D'autre part, il est à rappeler que le support de la mobilité implique que la personne surveillée peut se déplacer d'un emplacement à un autre. L'environnement de ce dernier, étant soit en intérieur plus particulièrement à domicile, ou encore à l'extérieur, et prenant en considération les différences entre les deux, certains besoins conceptuels et mécanismes pourraient dépendre, en plus du profile de données, de la localisation de la personne. Le réseau de capteurs environnant la personne devrait être basé sur l'emplacement i.e. BAN à domicile (in-home, ih-BAN) et BAN à l'extérieur (outdoor, out-BAN), alors que la disponibilité des autres réseaux de communication est aussi dépendante de la localisation de la personne surveillée.

Les recommandations et besoins technologiques et conceptuels sont par conséquent corrélés aux contraintes de profile de données ainsi que les BANs basés sur la localisation.

4.3.2.1 Recommandations : Besoins technologiques

L'ensemble des recommandations décrites ici abordent les choix technologiques en termes de matériel, standards de communication, topologie et autres éléments relatifs au support de la mobilité. De plus, les besoins du profile de données sont associés aux recommandations illustrant leur impact sur les paramètres de ces dernières ou carrément leur nécessité. Un tableau récapitulatif est présenté après la description des recommandations.

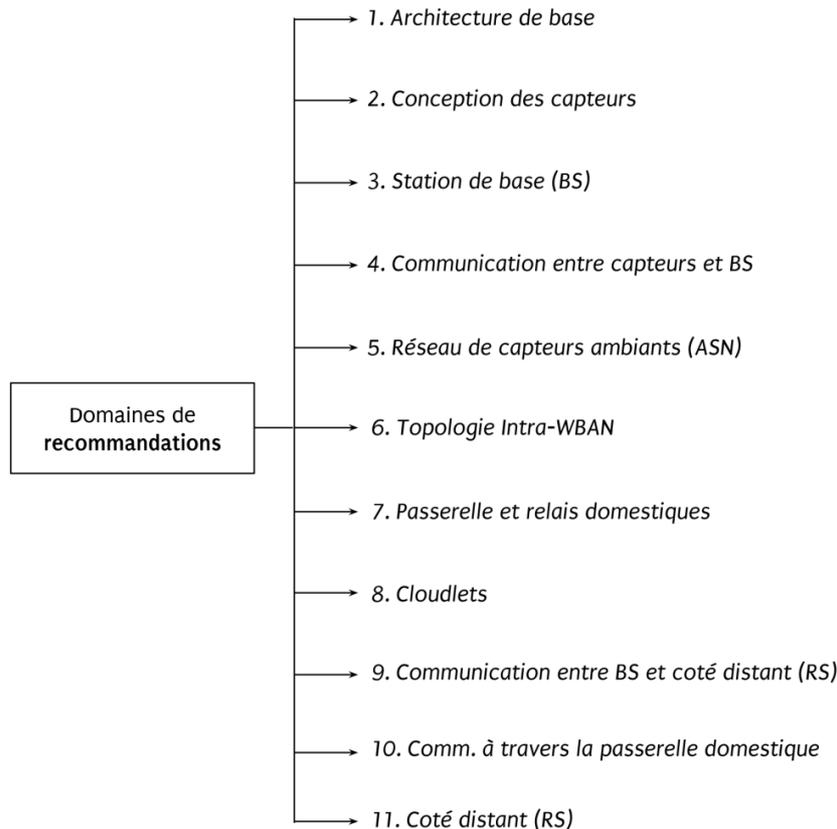


Fig. 27. Domaines de recommandations technologiques du framework de conception

- ***Au niveau Intra-BAN***

- 1) **Architecture de base.** Le framework est basé sur l'architecture trois-tiers considérée comme modèle complet dans les systèmes de surveillance médicale [4].
- 2) **Conception des capteurs.** Afin de supporter la mobilité de l'utilisateur, les capteurs doivent être conçus de manière à être légers, discrets et non-invasives [34] ; ils doivent être économes en énergie étant donné que l'utilisateur mobile peut ne pas les recharger durant de longues périodes, ainsi qu'à faible coût pour être aussi accessibles que possible au public. La contrainte de consommation d'énergie pourrait dépendre du besoin en terme de fréquence de données vu que celle-ci est typiquement proportionnelle aux transmissions ; tandis que l'abordabilité est en relation avec la fiabilité des données et la fréquence de leur collecte, étant donné que des capteurs à plus grande précision et rendu en qualité de données sont généralement plus coûteux. Par ailleurs, les capteurs doivent être conçus de manière à détecter et mitiger les interférences de mouvements ce qui pourrait être dépendant de la fiabilité des données en termes de tolérance aux erreurs. D'un point de vue sécurité, vu que les capteurs peuvent être sujet à des mal-traitements, ceux-ci doivent être conçus de manière à être inviolables et hermétiquement scellés afin de réduire les possibilités de fraude, alors que des mécanismes tel que les filtres d'interférences magnétiques doivent être considérés

contre les attaques de brouillage où de puissants transmetteurs sont utilisés pour interférer les signaux radios des capteurs [15, 16].

- 3) **Station de base (Base station, BS).** Les plateformes mobiles sont bien adaptées à l'utilisation en tant que station de base dans les systèmes de surveillance médicale, plus particulièrement les Smartphones qui sont devenus plus populaires [80]. Ces dernières deviennent de vraies plateformes informatiques pervasives, offrant une communication et des services ubiquitaires [80], elles supportent différentes technologies sans fil, typiquement incluant le cellulaire et le WiFi, et sont de plus en plus équipées de technologies de communication à faible consommation d'énergie; tout cela contribuant à la prise en charge des situations d'urgence et à l'efficacité en terme de consommation d'énergie. Les Smartphones intègrent aussi des capteurs tel que l'accéléromètre et GPS, et offrent généralement des capacités de stockage et traitement assez puissantes, contribuant aux différents mécanismes de support de la mobilité tel que la localisation et la prise en charge de la connectivité intermittente, et permet l'utilisation d'algorithmes avec un taux de compression élevé, contribuant à la réduction des coûts et l'économie d'énergie [56, 57].

Le choix de la plateforme mobile à utiliser comme station de base dépend de deux besoins majeur relatifs au profil de données à savoir le temps réel, définissant les capacités réseaux de la station de base tel que le support du réseau cellulaire en cas de transmission d'urgence, et le traitement des données pouvant définir la puissance de calcul nécessaire au niveau de la station de base si un traitement en local est requis.

La station de base en tant que passerelle doit traiter l'interopérabilité entre les différentes technologies de communication afin de relayer entre l'intra et le beyond-BAN.

- 4) **Communication entre capteurs et station de base.**

Les capteurs doivent communiquer à travers des technologies à courte portée et à faible consommation d'énergie tel que ANT+, IEEE 802.15.1 LE (low energy), IEEE 802.15.4, bande ISM ou UWB. Parmi ces derniers, IEEE 802.15.1 LE semble être un choix judicieux particulièrement avec l'utilisation d'un Smartphone comme station de base. Comparé à IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.1 LE est en effet de plus en plus intégré dans les Smartphones apportant un nombre d'avantages en faveur du support de la mobilité ; ces derniers peuvent être récapitulés en : (1) faible coût, (2) portée étendue, (3) temps de latence optimisé, (4) conçu pour une consommation efficace d'énergie, (5) sécurité élevé, chiffrement AES-128, (6) robuste contre les interférences (CRC 24 bits sur tous les paquets), (7) minimise les interférences des autres technologies dans le bande 2.4GHz à travers un saut de fréquence adaptative, il a été de plus rapporté comme étant le meilleur standard faisant face aux autres réseaux 2.4GHz [90], et (8) support d'une topologie type mesh [95].

Dans un environnement à domicile, si la station de base est impliquée dans l'envoi des données de la personne surveillée, la communication avec les capteurs

peut être soit direct comme en extérieur, soit à travers des relais communicants à faible énergie, lorsque la personne met sa station de base loin d'elle par exemple ; ces relais peuvent être représentés par le réseau fixe de capteurs ambiants (*voir la recommandation suivante*).

- **5) Réseau de capteurs ambiants (ASN, Ambient sensor network).**

Quelque fois optionnel et d'autres nécessaire selon l'application ciblée et les besoins médicaux. Un réseau de capteurs ambiants est un réseau généralement fixé à domicile. Bien que les capteurs soient généralement alimentés par une source d'énergie continue, l'utilisation d'une technologie de communication à faible consommation d'énergie tel que 802.15.1 LE est recommandée pour des raisons de compatibilité avec les appareils mobiles alimentés par batteries. L'ASN pourrait aussi nécessiter le support de communications multi-sauts, ainsi que le support d'une technologie de communication à plus large portée notamment 802.11 (largement répandu) soit sur chaque nœud ambiant ou bien sur le plus proche de la passerelle, dans le cas où l'ASN est utilisé comme réseau relai pour la station de base ou encore les capteurs vers la passerelle. Malgré que certaines technologies tel que 802.15.1 LE soient conçues à être utilisé en saut unique ou topologie en étoile, il est toutefois possible de concevoir des topologies type mesh comme mentionné précédemment et rapporté dans [96] et [97].

Le besoin ou le choix des paramètres relatifs à l'ASN pourrait dépendre du besoin de corrélation des données définissant par exemple si certaines données des capteurs corporels nécessitent d'être augmentées à l'aide des capteurs ambiants afin de déduire des informations pertinentes relatives à l'état de santé de la personne surveillée.

- **6) Topologie intra-WBAN.**

Les topologies à saut unique/en étoile et à multi-sauts/mesh peuvent être utilisées pour l'intra-WBAN. Cependant, bien que la stratégie à saut unique puisse être suffisante étant donné la portée supportée et les dimensions du corps humain, la stratégie à multi-sauts, malgré que plus complexe à la réalisation, pourrait être toutefois nécessaire pour des raisons de fiabilité; ceci en raison du fait que même avec une puissance de transmission élevée, les communications sans fil à travers le corps humain est impossible [48], où l'affaiblissement élevé de propagation provoqué si les capteurs sont déployés sur deux cotés différents du corps par exemple, peuvent être réduits en comparaison à une stratégie à saut unique ; en outre, il a été rapporté que le multi-sauts, en plus de réduire l'affaiblissement de propagation dû à la diffraction, contribue à la bonne distribution de la consommation d'énergie entre capteurs [20], comme dans le protocole de routage efficace en énergie décrit dans [92] où la transmission à travers des nœuds intermédiaires est exploitée en situation normale, tandis que la communication directe est plutôt utilisée en cas d'urgences ou problèmes des intermédiaires ; Pour cela, l'adaptation de la technologie à courte portée utilisée pour de telles situations comme précédemment vu, pourrait nécessiter l'implémentation de protocoles additionnels à l'aide des caractéristiques

avancées, comme cela a été réalisé pour 802.15.1 LE dans [98] par exemple. Dans le cas d'une topologie à saut unique, la consommation d'énergie doit aussi être prise en compte comme il a été rapporté dans [8]. Une comparaison entre les topologies à saut unique et multi-sauts peut être consultée dans [20].

Le choix de la topologie intra-WBAN appropriée est par conséquent en étroite relation avec le besoin en fiabilité des données. De plus, les besoins en temps réel et priorisation des données sont aussi importants, étant donné que la défaillance des capteurs et le délai de transmission sont dépendants de la topologie utilisée, tel que par exemple la défaillance d'un capteur qui pourrait perturber l'ensemble des autres capteurs nécessitant une collecte en temps réel [20].

- ***Au niveau inter-BAN***

- 7) **Passerelle et relais domestiques.** Dans un environnement à domicile, la passerelle peut être n'importe quel appareil communicant connecté au WAN (Internet), tel que généralement un PC de bureau, un PC portable ou un routeur sans fil. Celle-ci devrait supporter les technologies de communication utilisées afin de pouvoir remplir son rôle de passerelle vers le beyond-BAN. Si la passerelle ne possède qu'une connectivité à courte portée tel que 802.15.1 LE, une infrastructure de relais couvrant le domicile tel que l'ASN doit être utilisée afin de transmettre les données des capteurs / station de base vers la passerelle.
- 8) **Cloudlets.** Considérés comme des systèmes Cloud à petite échelle; les cloudlets sont intéressants pour le support de la mobilité dans les WHMS. En effet, le déploiement de tels systèmes dans l'environnement des personnes surveillées (particulièrement à l'extérieur), étant utilisés en tant que relais à travers des technologies à faible consommation tel que 802.11 (à la différence des communications directes à travers les réseaux coûteux tel que la 3G et LTE [79]), peut contribuer à la réduction des coûts et consommation d'énergie des transmissions, en plus du support de l'évolutivité du réseau. Les cloudlets doivent supporter les technologies de communication nécessaires notamment celle utilisée par la station de base tel que 802.11, et être connectés au côté distant à travers des technologies à large portée tel que 802.16 ou encore idéalement à travers des communications filaires pour une meilleure fiabilité.
- 9) **Communication entre station de base et Coté distant (RS, Remote Side).** Dans un environnement en extérieur, la station de base devrait pouvoir offrir différentes possibilités de connectivité selon la disponibilité des réseaux. Elle doit être capable de choisir le meilleur réseau à utiliser (points d'accès WiFi, cellulaire, ...) selon les différents paramètres à l'aide du mécanisme de handover (*voir prochaine section "mécanismes clés"*). Cette sélection de réseaux dépend des contraintes du profil de données en terme de besoin en temps réel, fiabilité et gestion des données. Si les paramètres de certaines données surveillées doivent être gérés à distance par exemple, le débit de téléchargement devrait être plus pris en considération. Cependant, la sélection du réseau des cloudlets si disponible pourrait être prioritaire du fait de ses capacités avantageuses (stockage

et puissance de traitement pour des analyses médicales avancées rapides, ainsi que des communications plus efficaces en terme d'énergie et coût et éventuellement plus fiables).

Dans un environnement à domicile, la communication est généralement effectuée à travers la passerelle domestique comme cela sera décrit dans le prochain point. Cependant, dans certaines situations tel que les cas d'urgences ou de perte de la connexion WAN, la communication peut être établie directement entre la station de base et le coté distant à travers les réseaux cellulaires, ce qui rend le choix du réseau dépendant des besoins en temps réel et priorisation des données.

- **10) Communication à travers la passerelle domestique.**

La transmission de données vers le coté distant via Internet ou autre, peut être effectuée soit directement, ou bien à travers la station de base si celle-ci est impliquée. Cependant, écarter la station de base dans ce type de communication peut être non recommandé étant donné que celle-ci est très utile pour le traitement en local et la transmission en cas d'urgence à travers les réseaux cellulaires.

Par conséquent, l'implication de la station de base dépend principalement des besoins en temps réel ainsi que le traitement et corrélation des données, comme dans le cas où les données stockées sur la station de base pourraient nécessiter le reste des données surveillées en étant à domicile, pour une analyse et un feedback local.

La station de base et les capteurs communiquent avec la passerelle domestique à travers les interfaces disponibles des deux cotés tel que 802.15.1 LE. Si nécessaire, tel que dans le cas d'une technologie à courte portée, les communications peuvent être effectuées à travers des relais devant supporter les interfaces de la station de base/capteurs ainsi que celles de la passerelle domestique si ces dernières sont différentes. L'ASN peut jouer le rôle de l'infrastructure de relai.

- ***Au niveau du beyond-BAN***

- **11) Coté distant.** Peut être représenté par un Cloud médical privé offrant les ressources nécessaires en termes de stockage, traitement et communication. La connectivité Internet des serveurs distants est nécessaire afin de partager les différentes informations relatives aux personnes surveillées avec la famille et les professionnels de la santé. Ceci peut être effectué à travers l'architecture basée sur les services web [3, 4] et accédé à l'aide d'applications web et mobiles. Les plateformes mobiles sont intéressantes à utiliser par les professionnels de la santé ainsi que les familles pour une surveillance continue de leur patients partout et à tout moment tel que les conseiller ou gérer les paramètres de collecte et du système comme les seuils [15, 77, 78].

Les services web à implémenter du coté distant sont en étroite relation avec le besoin de gestion des données.

Recommandations	Profile données	Emplacement ²
1. Architecture de base. Trois-tiers		
:: Intra-BAN :		
2. Conception des capteurs. <ul style="list-style-type: none"> ○ Léger, discret, non-invasive ○ Eco-énergétique and à faible coût ○ Solidité afin de mitiger les interférences de mouvements 	DR - DF DR	
3. Station de base (BS). <ul style="list-style-type: none"> ○ Plateforme mobile, de préférence un Smartphone 	DPC - RT	
4. Communication entre capteurs et BS. <ul style="list-style-type: none"> ○ Technologies de communication à courte portée et faible consommation d'énergie (notamment 802.15.1 LE) ○ Communication directe ○ Communication directe ou à travers des relais à faible consommation (ex. BS loin du patient) 		out-BAN ih-BAN
5. Réseau de capteurs ambiants (ASN). <ul style="list-style-type: none"> ○ Optionnel et parfois nécessaire ○ Fixé, avec interface de communication à faible consommation (ex. 802.15.1 LE) ○ Support de communication multi-sauts si transmission de données vers passerelle ○ Interface de communication à longue portée (notamment 802.11) pourrait être nécessaire 	DC	ih-BAN
6. Topologie intra-WBAN. <ul style="list-style-type: none"> ○ Saut unique / Multi-sauts 	DPR-RT-DR	
:: Inter-BAN :		
7. Passerelle et relais domestiques. <ul style="list-style-type: none"> ○ La passerelle peut être n'importe quel appareil supportant les technologies de communication nécessaires et connecté au WAN (Router sans fil, PC de bureau, ...) <ul style="list-style-type: none"> ■ Si la passerelle ne supporte qu'une connectivité à courte portée tel que 802.15.1 LE, une infrastructure de relais couvrant la maison est nécessaire (ex. ASN) 		ih-BAN
8. Cloudlets. <ul style="list-style-type: none"> ○ Interface de communication utilisée par la BS (ex. 802.11) ○ Interface de communication étendue (lien avec le coté distant) tel que 802.16 ou idéalement filaire pour une meilleure fiabilité 		out-BAN

² Out-BAN : en extérieur, ih-BAN : à domicile, si aucun BAN basé sur l'emplacement n'est mentionné, la recommandation est considérée comme générale indépendamment de l'emplacement.

9. Communication entre BS et coté distant (RS). <ul style="list-style-type: none"> ○ Sélection du meilleur réseau (Cellulaire, WiFi, cloudlet, ...) ○ A travers la passerelle domestique (<i>voir recommandation suivante</i>), ou Réseau cellulaire en cas d'urgences / problème connectivité passerelle domestique (ex. pas de connectivité WAN) 	RT-DR-DM DPR - RT	out-BAN ih-BAN
10. Communication à travers la passerelle domestique. <ul style="list-style-type: none"> ○ Communication directe ou à travers la BS. ○ Communication des capteurs ou BS via les interfaces de communication communes avec la passerelle. ○ Si nécessaire la communication peut être établie à travers des relais 	DPC-DC-RT	ih-BAN
.: Beyond-BAN .:		
11. Coté distant (RS). <ul style="list-style-type: none"> ○ Connectivité Internet et architecture basée sur les services web <ul style="list-style-type: none"> ■ Accédés via des applications web ou mobiles ● Plateformes mobiles pour les acteurs distants 	DM	

Tableau 9. Recommandations vs profile des données et localisation

4.3.2.2 Mécanismes clés : Besoins conceptuels

Après un bref rappel de description des mécanismes clés, ces derniers sont présentés sous la forme de besoins conceptuels, associés aux besoins du profile des données et tiers de l'architecture impliqués. Un tableau récapitulatif est présenté après la description des mécanismes.

Il est à noter que les différents algorithmes utilisés par les mécanismes suivants doivent être conçus pour être économes en énergie, et de façon à ne pas constituer ou conduire à une quelconque faille de sécurité.

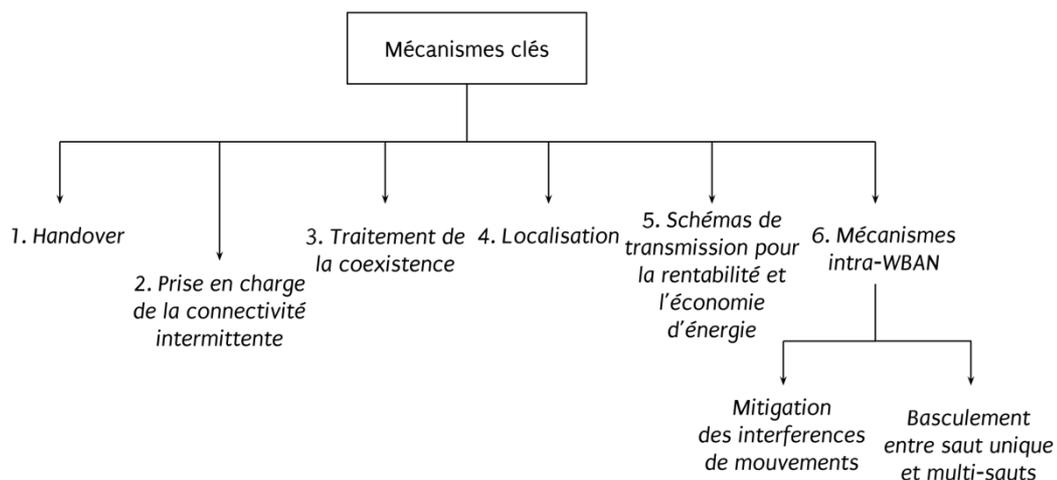


Fig. 28. Mécanismes clés du framework de conception

- 1) **Handover.** Un mécanisme décisionnel pour basculer entre les points d'attachement au sein d'un même réseau ou à travers différents réseaux, sur la base d'un nombre de paramètres tel que le RSSI [70, 81, 84]. Les handovers permettent de maintenir la connectivité, maximiser le débit et supporter la qualité de service [81]. La consommation d'énergie et le coût sont deux paramètres importants à prendre en considération par les algorithmes décisionnels de handover, et un compromis entre la qualité de connexion et d'autres paramètres tel que le coût peut être considéré [37, 83]. Un algorithme décisionnel de handover doit être conçu pour effectuer les handovers de manière transparente, en évitant les handovers non nécessaires, tout en étant efficace en termes de consommation d'énergie [70]. Des mécanismes de stockage tampon peuvent aussi être conçus afin de stocker localement et temporairement les données en cas de handover lent par exemple.

Le temps d'exécution d'un handover est fortement lié aux besoins du profil des données en terme de temps réel et fréquence. Dans certains cas, un handover peut ne pas être nécessaire, même si la connexion actuelle est perdue dans le cas par exemple d'une fréquence de collecte très petite tel qu'une mesure par jour, ou encore dans le cas d'une tolérance de délai comme dans les applications où les données collectées ne sont transmises au coté distant qu'après quelques jours. Cependant, ce genre de cas n'est pas sensible aux urgences étant donné que la connectivité n'est pas maintenue autant que possible.

- 2) **Prise en charge de la connectivité intermittente.** Celle-ci est généralement effectuée à travers le basculement vers le mode de communication DTN (Disruption-Tolerant Networking ou Réseaux tolérants aux perturbations) prenant en charge les ruptures temporaires de connectivité [56], ce qui pourrait être d'autant plus nécessaire dans les environnements ruraux. Les algorithmes DTN "Store and forward" nécessitent des capacités de stockage local ainsi qu'éventuellement des capacités de calcul local et un minimum d'algorithmes de traitement pour l'analyse en temps réel et la détection continue des cas d'urgences. En outre, en raison des ruptures de connectivité et des transmissions différées, des algorithmes coté distant pour le traitement des données reçues sont nécessaires comprenant l'ordonnancement et la synchronisation [15].

Les caractéristiques du mode de communication DTN sont en étroite relation avec le besoin en temps réel du profil des données, définissant par exemple le besoin ou non du traitement en local ; le besoin en terme de priorisation des données est aussi important pour différencier entre les données pouvant supporter un délai que ce soit en terme de traitement ou de transmission, ainsi que la priorisation de traitement des données après une reconnexion. Enfin, le besoin en termes de fréquence de collecte pourrait déterminer si le mode DTN doit être utilisé ou non. D'autre part, la connectivité intermittente peut aussi être mitigée à travers l'extension de la couverture sans fil augmentant la connectivité du réseau si la coopération du nœud avec son voisinage est possible [99].

- 3) **Traitement de la coexistence.** Une personne surveillée peut être entourée par différentes technologies sans fil ; son réseau de capteurs corporels coexiste par conséquent avec cet environnement qu'il soit question d'autres réseaux corporels, appelée coexistence homogène, ou encore d'autres réseaux sans fil autour du même rayon, appelée coexistence hétérogène [72].

La problématique de coexistence entraîne des interférences conduisant à la perte de données médicales des personnes surveillées et autre trafic ; Par conséquent, le besoin de traiter la coexistence est en étroite relation avec les besoins en termes de fiabilité des données, sachant que beaucoup d'applications nécessitent une haute fiabilité particulièrement dans les situations d'urgences [90]. Il est rapporté que jusqu'à présent, les standards actuels n'ont pas encore correctement traité le problème de coexistence entre les WBANs et autres réseaux environnants sur la même bande [90]. Des mécanismes pour la détection [64], ainsi que la mitigation [44] de l'impact des interférences dues à la coexistence sont donc nécessaires.

- 4) **Localisation.** Les mécanismes de localisation sont d'une grande importance, étant donné qu'un utilisateur mobile plus particulièrement les personnes âgées doivent toujours être traçables en temps réel, de sorte à ce que si une urgence est détectée, l'utilisateur peut être immédiatement localisé et trouvé [78]. Vu qu'un utilisateur se déplace entre des environnements intérieurs et extérieurs où les mécanismes de localisation diffèrent, des algorithmes pour différencier entre l'environnement à domicile et un environnement en extérieur doivent être utilisés, ce qui contribue à tirer profit de chaque emplacement de l'utilisateur.

Dans un environnement à domicile, les algorithmes de localisation reposent sur différentes infrastructures fixes et sans fil tel que l'ASN si disponible. Selon les besoins de l'application cible, les réseaux de capteurs multimédia (Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSN) peuvent être aussi utilisés étant rapporté pouvoir fournir plus d'information que les WSN classiques ; cependant, ces derniers nécessitent des algorithmes intelligents sur le plan énergétique [100]. En ce qui concerne l'environnement en extérieur, les plateformes mobiles utilisées comme station de base, plus particulièrement les Smartphones, sont généralement équipées d'un capteur GPS sur lequel les algorithmes de localisation peuvent facilement reposer; d'autre part, les informations fournies par le réseau cellulaire à travers l'identité de la zone de localisation (Location Area Identity, LAI) peuvent aussi être utilisées (éventuellement en combinaison avec le GPS) pour le calcul de la position de l'utilisateur [76].

- 5) **Schémas de transmission pour la rentabilité et l'économie d'énergie.** Pour un système supportant la mobilité, il est important d'économiser l'énergie et mitiger les coûts en communication ; Pour cela, le schéma de transmission utilisé doit être flexible de sorte à ce qu'il puisse s'adapter à différentes situations sur la base des besoins de l'application. Si par exemple, dans une application donnée, l'historisation de certaines données sur le côté distant n'est pas utilisée, et que le traitement nécessaire n'est pas complexe, ce dernier peut être effectué sur la station de base et ainsi seulement les données d'urgence et les alertes

seront transmises, tel que décrit dans [4], alors que pour le reste des données, une transmission périodique peut toujours être effectuée. D'autres exemples peuvent être cités tel que limiter la transmission des données seulement dans le cas où les valeurs récoltées varient, ou encore de différencier entre les communications à domicile et en extérieur dans le sens où à domicile, la connectivité distante étant à faible coût, toutes les données peuvent être transmises périodiquement, tandis qu'en extérieur où le coût de transmission est plus important, des seuils peuvent être utilisés et seulement les données excédant ces derniers sont envoyées [76, 92] ; un autre cas de figure est de transmettre seulement les données pouvant nécessiter un traitement distant pour des raisons de besoin en puissance par exemple. Le schéma approprié de transmission dépend donc des besoins en traitement et priorisation des données, ainsi que le besoin en temps réel.

Des algorithmes pour la gestion du schéma de transmission sont donc nécessaires ; ces derniers sont typiquement basés sur un critère donné tel que les seuils, la classification des données en normales et d'urgence ou encore l'infrastructure réseau utilisée ; Certains schémas de transmission pourraient aussi nécessiter des capacités en terme de stockage et calcul. Les algorithmes du mécanisme doivent donc être capables de classifier les informations du critère employé tel que différencier entre les données et messages normaux et d'urgence, ainsi que prendre les décisions appropriées sur la base de cette classification.

- 6) **Mécanismes intra-WBAN.** Afin de prendre en charge les interférences dues à la mobilité intra-WBAN i.e. les mouvements du corps, des méthodes basées sur des algorithmes doivent être utilisées pour mitiger l'impact de ces interférences [20]. Ces méthodes peuvent être implémentées soit au niveau des capteurs à la limite de leurs capacités ou encore au niveau de la station de base où les techniques peuvent être plus avancées en raison de la puissance offerte en comparaison aux capteurs. De tels algorithmes sont typiquement dépendants des contraintes du besoin en fiabilité des données étant donné que plus le degré de fiabilité requis est grand, plus les interférences doivent être mitigées.

D'autre part, comme précédemment vu dans les recommandations, si une stratégie multi-sauts est utilisée, la conception d'un mécanisme pour son support est requise si celui-ci n'est pas déjà intégré tel que dans le cas de l'emploi du standard 802.15.1 LE, ainsi qu'éventuellement un mécanisme pour le basculement entre les topologies à saut unique et multi-sauts.

Mécanismes: Besoins conceptuels	Profile des données	Tier ³
1. Handover. <ul style="list-style-type: none"> ○ Handover nécessite la conception d'un algorithme décisionnel qui: <ul style="list-style-type: none"> ■ Réalise un handover transparent 	RT - DF	1,2

³ 1: intra-WBAN, 2: inter-WBAN, 3: beyond-WBAN

<ul style="list-style-type: none"> ■ Evite les handovers non nécessaires ■ Est efficace en termes de consommation d'énergie ○ Mécanismes de mise en tampon des données nécessaires en cas de handovers lents <ul style="list-style-type: none"> ■ Capacité de stockage local 		
<p>2. Prise en charge de la connectivité Intermittente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Algorithmes DTN "Store and Forward" <ul style="list-style-type: none"> ■ Capacité de stockage local ■ Capacité de calcul local et un minimum d'algorithmes de traitement pour l'analyse temps réel et détection des situations d'urgences ■ Algorithme décisionnel pour une transmission basée sur la connectivité ■ Algorithmes coté distant pour le traitement des données reçues (synchronisation, ordonnancement, ...) ○ Techniques d'extension de la couverture du réseau sans fil <ul style="list-style-type: none"> ■ Coopération avec le voisinage nécessaire 	RT - DPR - DF	1,2,3
<p>3. Traitement de la coexistence.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Algorithmes de prédiction et détection ○ Algorithmes de mitigation des interférences 	DR	1,2
<p>4. Localisation.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Algorithmes pour différencier entre l'environnement à domicile et en extérieur, afin de prendre avantage de chaque environnement ○ Algorithme de localisation en intérieur <ul style="list-style-type: none"> ■ S'appuyant sur l'ASN si disponible ■ D'autres infrastructures spécialisées pourraient être utilisées (WMSN entre autres) ○ Algorithme de localisation en extérieur s'appuyant <ul style="list-style-type: none"> ■ sur le GPS de la plateforme mobile ■ ou encore (éventuellement en combinaison avec le GPS) le LAI du réseau cellulaire 		1,2,3
<p>5. Schémas de transmission pour la rentabilité et l'économie d'énergie</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Algorithmes de gestion de la transmission basée sur critère tel que les seuils, données normales/d'urgence, ou infrastructure réseau utilisée. <ul style="list-style-type: none"> ■ Classification des informations selon le critère employé tel que différencier entre les données et messages normaux et d'urgence ■ Prendre les décisions appropriées ■ Possibilité de besoin en capacités locales en termes de stockage et calcul 	DPR - DPC	1,2
<p>6. Mécanismes intra-WBAN.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Méthodes basées sur des algorithmes pour mitiger les interférences dues aux mouvements <ul style="list-style-type: none"> ■ Basique, au niveau des capteurs ■ Plus avancées, au niveau de la station de base 	DR	1

○ Mécanismes pour le basculement entre les topologies à saut unique et multi-sauts si utilisées	DPR	1
---	-----	---

Tableau 10. Mécanismes clés vs profile des données et tiers

4.4 Schématisation du framework de conception et discussion

Le support de la mobilité implique différents aspects de conception des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs. Les besoins conceptuels définis précédemment peuvent être projetés sur les couches de conception afin de pouvoir tracer un plan général du niveau d'implication de chaque aspect.

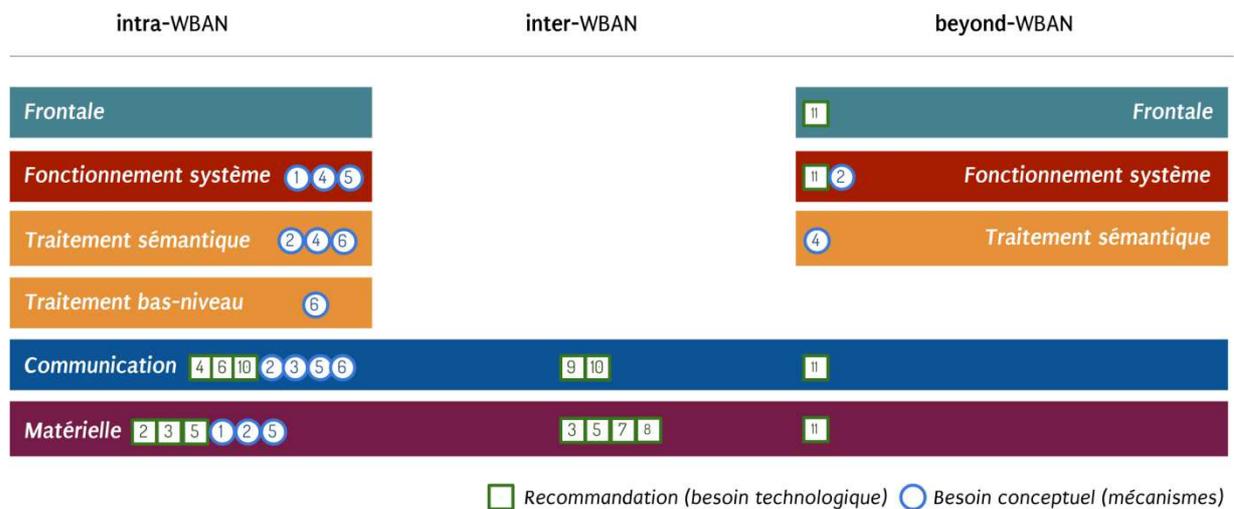


Fig. 29. Projection des besoins conceptuels sur les couches de conception

Au niveau de la couche frontale, les applications mobiles et web utilisées par les docteurs et les familles des personnes surveillées doivent être conçues avec des interfaces ergonomiques et faciles d'utilisation.

La couche fonctionnement du système comprend au niveau de l'intra-WBAN des algorithmes utilisés dans les mécanismes de support de la mobilité incluant le handover, la localisation et les schémas de transmission, tandis qu'au niveau beyond-WBAN, des algorithmes pour le traitement de la connectivité intermittente dans le but de traiter les données reçues sont nécessaires, ainsi que divers autres algorithmes pour l'accès à distance tel que l'authentification.

Concernant la couche de traitement sémantique, celle-ci comprend d'importants algorithmes pour les mécanismes de localisation, de traitement de la connectivité intermittente et la mitigation des interférences dues aux mouvements.

La couche de traitement bas-niveau peut aussi comprendre des algorithmes pour les mécanismes de mitigation des interférences.

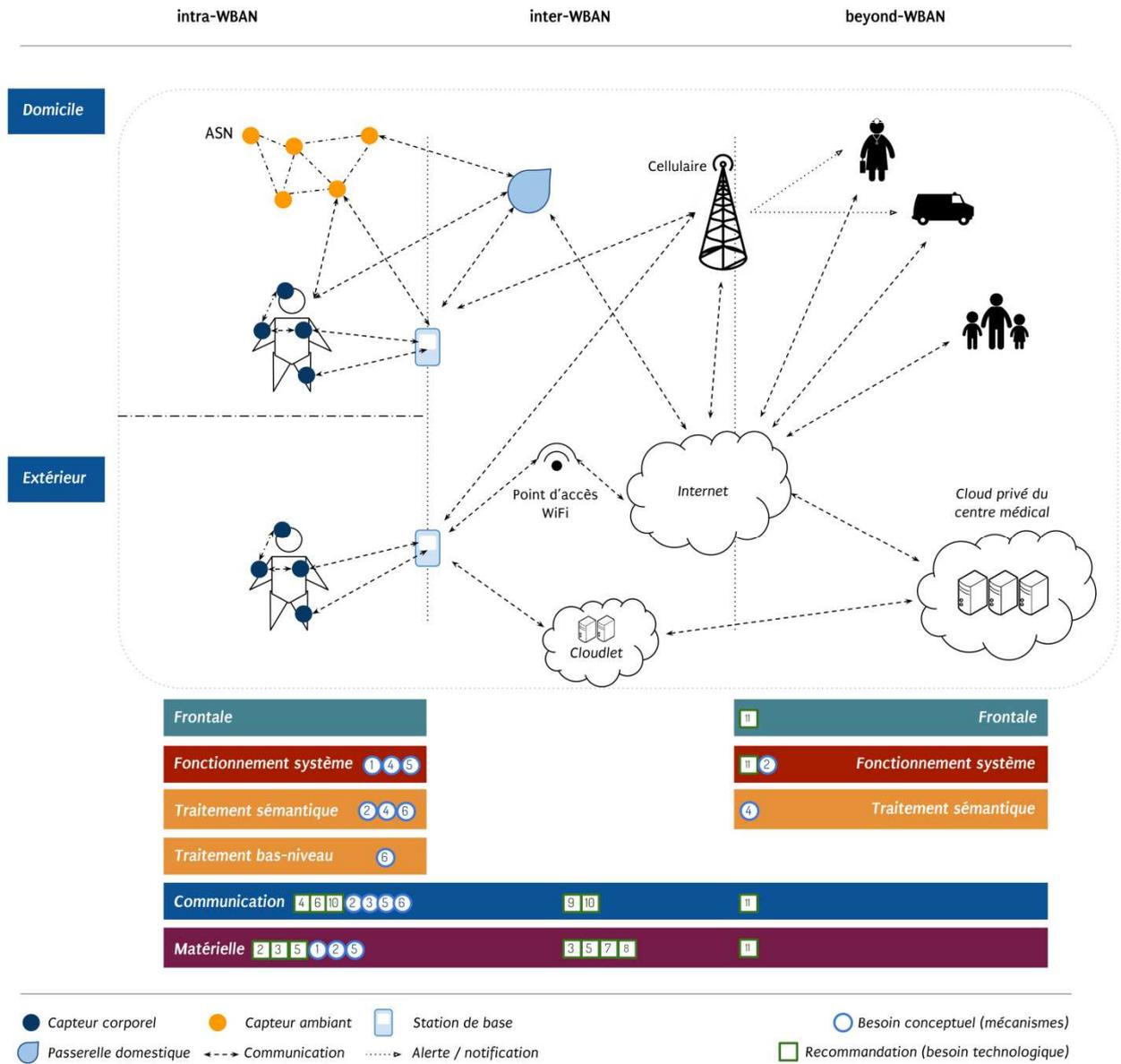


Fig. 30. Le support de la mobilité dans les WHMS

Par ailleurs, les couches matérielle et communication sont les aspects de conception les plus impliquées dans le support de la mobilité.

La couche communication comprend au niveau de l'intra-WBAN la topologie des capteurs et la station de base, les standards de communication entre les capteurs et la station de base ainsi qu'entre capteurs et passerelle domestique, et un ensemble d'algorithmes pour d'autres mécanismes tel que le handover, le traitement de la coexistence, les schémas de transmission et basculement entre saut unique ou multi-sauts. Concernant l'inter-WBAN, celui-ci couvre les standards de communication et réseaux utilisés entre la station de base et le coté distant, ainsi qu'avec la passerelle domestique et entre cette dernière et le coté distant. La connectivité Internet est nécessaire et une architecture service web est recommandée au niveau du beyond-BAN.

Pour ce qui est de la couche matérielle et au niveau de l'intra-WBAN, des recommandations autour de la conception des capteurs tel que l'efficacité en terme de consommation d'énergie et la solidité doivent être définies ; alors que la station de base pourrait être une plateforme mobile de préférence un Smartphone et un réseau de capteurs ambiants optionnel pourrait être déployé afin d'augmenter les données des capteurs corporels ainsi que les acheminées. Des cloudlets d'autre part peuvent aussi être déployés comme des clouds à petite échelle ainsi qu'en tant que relais fiables, afin d'économiser le coût et la consommation d'énergie du point de vue communication de la station de base. De plus, les mécanismes de handover, prise en charge de la connectivité intermittente et les schémas de transmission pourraient nécessiter certains besoins spécifiques concernant le stockage et calcul locaux. Au niveau de l'inter-WBAN, des caractéristiques pour les interfaces de la station de base, la passerelle domestique et le réseau de capteurs ambiants sont définies. Enfin, au niveau du beyond-WBAN, les plateformes mobiles sont recommandées pour les professionnels de la santé et les familles afin de suivre leurs patients partout et à tout moment.

4.5 Conclusion et travaux futurs

A partir de la schématisation décrite ci-dessus, il est constaté que le support de la mobilité dans les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs s'étale sur les trois niveaux de la représentation trois-tiers, et implique toutes les couches de conception introduites précédemment en termes de choix technologiques et besoins en mécanismes, ayant de ce fait un grand impact sur la conception de tels systèmes.

Par ailleurs, il a été noté que les aspects communication et matérielle sont les plus impliqués des couches de conception; ceci peut être expliqué par le fait que la mobilité affecte essentiellement les transmissions entre les capteurs et les centres distants, ce qui nécessite des protocoles, standards et autres techniques et technologies de communication adaptées ; alors que la liberté de déplacement des utilisateurs nécessite des équipements avec des caractéristiques spécifiques comme il a été décrit dans ce travail.

En termes de perspectives futures, le framework de conception présenté pourrait être validé et appuyé à travers des simulations et expérimentations où les différents mécanismes clés décrits pourraient être implémentés et leurs besoins conceptuels mieux étudiés, ainsi que les différents besoins technologiques et recommandations pourraient être comparées en termes de technologies disponibles répondant aux exigences afin de valider leur convenance et pertinence selon différents types d'applications et contextes d'utilisateurs concernés.

Conclusion générale

Le support de la mobilité des personnes surveillées est une importante fonctionnalité dans les systèmes de surveillance médicale pouvant contribuer activement à l'amélioration de leur qualité de vie. En effet, ce support rend possible la surveillance partout et à tout moment, permettant la détection d'anomalies de santé, la prédiction et prévention des problèmes sérieux et critiques de santé tel que les chutes, ainsi qu'une réactivité immédiate des entités concernées envers les personnes surveillées.

En examinant la littérature, il s'avère qu'un nombre d'études de recherche et propositions abordent ou incluent le support de la mobilité dans les systèmes de surveillance médicale. Cependant, au mieux de notre connaissance, aucune de ces études n'aborde le support de la mobilité d'une perspective ou point de vue décrivant les besoins, exigences et mécanismes impliqués, ainsi que leur corrélation avec le contexte de l'utilisateur. Certains abordent un besoin ou mécanisme spécifique tel que le handover, ou la coexistence, d'autres incluent dans leurs travaux certains aspects de support de la mobilité tel que dans les propositions de systèmes, alors que quelques études décrivent certains des aspects de support de la mobilité.

Dans cette perspective, et aspirant à servir comme contribution pour la conception et évaluation des systèmes de surveillance médicale avec un support complet de la mobilité, ce travail a pour but d'étudier les principales techniques et technologies rendant possible la mobilité de l'utilisateur, en soulignant les besoins de conception des mécanismes clés, ainsi qu'en présentent un nombre de besoins et recommandations technologiques.

Les différents besoins conceptuels et technologiques sont projetés sur la représentation typique trois-tiers, ainsi que sur les couches de conception introduites et définies dans ce travail, et dont le but est de couvrir les principaux aspects impliqués dans la conception des systèmes de surveillance médicale à base de capteurs.

Le tout, prenant en compte les contraintes du contexte du patient, a été schématisé et présenté sous la forme d'un framework de conception.

A partir de ce dernier, il a été constaté que le support de la mobilité dans les systèmes de surveillance médicale à base de capteurs s'étale sur les trois niveaux de la représentation trois-tiers, et implique toutes les couches de conception introduites en termes de choix technologiques et besoins en mécanismes, ayant de ce fait un grand impact sur la conception de tels systèmes. D'autre part, il a été noté que les aspects physique et communication sont les aspects les plus impliqués dans le support de la mobilité ; ceci peut être expliqué par le fait que la mobilité affecte essentiellement les transmissions entre capteurs et centres distants, ce qui nécessite des standards, protocoles et autres technologies de communication, alors que la liberté de mobilité des personnes nécessite des équipements avec des caractéristiques spécifiques et appropriées comme cela a été décrit au cours de ce travail.

En termes de perspectives futures, le framework de conception présenté pourrait être validé et appuyé à travers des simulations et expérimentations où les différents mécanismes clés décrits pourraient être implémentés et leurs besoins conceptuels mieux étudiés, ainsi que les différents besoins technologiques et recommandations qui pourraient être comparées en termes de technologies disponibles répondant aux exigences afin de valider leur convenance et pertinence selon différents types d'applications et contextes d'utilisateurs concernés.

Publications et communications

- A. Boulemtafes and N. Badache, 'Design of Wearable Health Monitoring Systems: An Overview of Techniques and Technologies', in *mHealth Ecosystems and Social Networks in Healthcare*, Athina A. Lazakidou; Stelios Zimeras; Dimitra Iliopoulou and Dionysios-Dimitrios Koutsouris, Ed. Springer International Publishing, 2016, pp. 79-94.
- A. Boulemtafes and N. Badache, 'Wearable Health Monitoring Systems: An Overview of Design Research Areas', in *mHealth Ecosystems and Social Networks in Healthcare*, Athina A. Lazakidou; Stelios Zimeras; Dimitra Iliopoulou and Dionysios-Dimitrios Koutsouris, Ed. Springer International Publishing, 2016, pp. 17-27.
- A. Boulemtafes, A. Rachedi and N. Badache, 'A Study of Mobility Support in Wearable Health Monitoring Systems: Design Framework', *12th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA '15)* 17-20 Nov, 2015.

Références

- [1] S. Patel, H. Park, P. Bonato, L. Chan and M. Rodgers, 'A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation', *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, vol 9, iss 1, p. 21, 2012.
- [2] B. Antonescu and S. Basagni, 'Wireless body area networks: challenges, trends and emerging technologies', *The 8th International Conference on Body Area Networks (BodyNets '13)*, pp. 1-7, 2013.
- [3] P. Pawar, V. Jones, B. Van Beijnum and H. Hermens, 'A framework for the comparison of mobile patient monitoring systems', *Journal of biomedical informatics*, vol 45, iss 3, pp. 544-556, 2012.
- [4] C. Chen, A. Knoll, H. Wichmann and A. Horsch, 'A review of three-layer wireless body sensor network systems in healthcare for continuous monitoring', *Journal of Modern Internet of Things*, vol 2, iss 3, 2013.
- [5] M. Milovsević, M. Shrove and E. Jovanov, 'Applications of smartphones for ubiquitous health monitoring and wellbeing management', *JITA-Journal of Information Technology and Applications (Banja Luka)-APEIRON*, vol 1, iss 1, 2011.
- [6] M. Al-Bashayreh, N. Hashim and O. Khorma, 'A survey on success factors to design application frameworks to develop mobile patient monitoring systems', *2012 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES) 17-19 Dec*, pp. 57-62, 2012
- [7] Bluetooth.com, 'Bluetooth Low Energy Technology'. [Online]. Available: <http://www.bluetooth.com/Pages/low-energy-tech-info.aspx>. [Accessed: 27- May-2014].
- [8] M. Chan, D. Estève, J. Fourniols, C. Escriba and E. Campo, 'Smart wearable systems: Current status and future challenges', *Artificial intelligence in medicine*, vol 56, iss 3, pp. 137-156, 2012.
- [9] M. Quwaider and S. Biswas, 'Modeling energy harvesting sensors using accelerometer in body sensor networks', *Proceedings of the 8th International Conference on Body Area Networks (BodyNets '13)*, pp. 148-152, 2013.
- [10] S. Bhadoria and H. Gupta, 'A Wearable Personal Healthcare and Emergency Information Based On Mobile Application', *International Journal of Scientific Research in Computer Science and Engineering*, 2013.

- [11] V. Jones, V. Gay and P. Leijdekkers, 'Body sensor networks for mobile health monitoring: Experience in europe and australia', *Fourth International Conference on Digital Society, 2010. ICDS '10*, pp. 204-209, 2010.
- [12] T. Falk, M. Maier and others, 'Context awareness in WBANs: a survey on medical and non-medical applications', *Wireless Communications, IEEE*, vol 20, iss 4, 2013.
- [13] P. Rashidi and A. Mihailidis, 'A survey on ambient-assisted living tools for older adults', *IEEE journal of biomedical and health informatics*, vol 17, iss 3, pp. 579-590, 2013.
- [14] A. Pantelopoulos and N. Bourbakis, 'Design of the new prognosis wearable system-prototype for health monitoring of people at risk', in *Advances in Biomedical Sensing, Measurements, Instrumentation and Systems, Lecture Notes in Electrical Engineering Volume 55, Ed. Springer*, pp. 29-42, 2010.
- [15] P. Kulkarni and Y. Ozturk, 'Requirements and design spaces of mobile medical care', *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol 11, iss 3, pp. 12-30, 2007.
- [16] M. Fouad, N. El-Bendary, R. Ramadan and A. Hassanien, 'Wireless Sensor Networks: A Medical Perspective', in *Wireless Sensor Networks: Theory and Applications, USA, CRC Press, Taylor and Francis Group*, pp. 713-732, 2013.
- [17] X. Liang, X. Li, M. Barua, L. Chen, R. Lu, X. Shen and H. Luo, 'Enabling pervasive healthcare through continuous remote health monitoring', *IEEE Wireless Comm*, vol 19, iss 6, pp. 10-18, 2012.
- [18] M. Mahfouz, M. Kuhn and G. To, 'Wireless medical devices: A review of current research and commercial systems', *2013 IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems (BioWireleSS)*, pp. 16-18, 2013.
- [19] M. Chen, S. Gonzalez, A. Vasilakos, H. Cao and V. Leung, 'Body area networks: A survey', *Mobile Networks and Applications*, vol 16, iss 2, pp. 171-193, 2011.
- [20] X. Lai, Q. Liu, X. Wei, W. Wang, G. Zhou and G. Han, 'A survey of body sensor networks', *Sensors*, vol 13, iss 5, pp. 5406-5447, 2013.
- [21] A. Sassolas, J. Marty, 'Biocapteurs au service du diagnostic medical', in *Nanotechnologies et biotechnologies pour la santé (Online). Ed. Techniques de l'ingénieur*, 2013.
- [22] S. Alsgaer, X. Tao, J. Zhang, H. Wang and Z. Guo, 'Telemedicine and telemonitoring in healthcare', in *Brain and Health Informatics, Lecture Notes in Computer Science, vol 8211, Ed. Springer*, pp. 201-209, 2013.

- [23] Y. Ren, R. Pazzi and A. Boukerche, 'Monitoring patients via a secure and mobile healthcare system', *Wireless Communications, IEEE*, vol 17, iss 1, pp. 59-65, 2010.
- [24] G. Acampora, D. Cook, P. Rashidi and A. Vasilakos, 'A survey on ambient intelligence in healthcare', *Proceedings of the IEEE*, vol.101, no.12, pp. 2470-2494, 2013.
- [25] M. Fatima, A. Kiani and A. Baig, 'Medical Body Area Network, Architectural Design and Challenges: A Survey', in *Wireless Sensor Networks for Developing Countries, Communications in Computer and Information Science, vol 366, Ed. Springer*, pp. 60-72, 2013.
- [26] A. Wood, G. Virone, T. Doan, Q. Cao, L. Selavo, Y. Wu, L. Fang, Z. He, S. Lin and J. Stankovic, 'ALARM-NET: Wireless sensor networks for assisted-living and residential monitoring', *University of Virginia Computer Science Department Technical Report*, vol 2, 2006.
- [27] A. Pantelopoulos and N. Bourbakis, 'A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis', *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, vol 40, iss 1, pp. 1-12, 2010.
- [28] Alcom.be, 'Classic Bluetooth vs. Bluetooth low energy'. [Online]. Available: http://www.alcom.be/binarydata.aspx?type=doc/Bluegiga_Bluetooth_LE_comparison.pdf. [Accessed: 27- May- 2014].
- [29] Y. Zatout, 'Using wireless technologies for healthcare monitoring at home: A survey', *2012 IEEE 14th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*, pp. 383-386, 2012.
- [30] R. Heydon, 'Bluetooth[®] Technology – Basics and Brand', *Bluetooth world 2013 Shanghai China*, 2013.
- [31] S. Ullah, M. Mohaisen and M. Alnuem, 'A review of ieee 802.15.6 mac, phy, and security specifications', *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol 2013, 2013.
- [32] F. Martelli, C. Buratti and R. Verdone, 'On the performance of an IEEE 802.15.6 wireless body area network', *11th European Wireless Conference 2011 - Sustainable Wireless Technologies (European Wireless)*, pp. 1--6, 2011.
- [33] V. Custodio, F. Herrera, G. Lopez and J. Moreno, 'A review on architectures and communications technologies for wearable health-monitoring systems', *Sensors*, vol 12, iss 10, pp. 13907-13946, 2012.
- [34] U. Anliker, J. Ward, P. Lukowicz, G. Troster, F. Dolveck, M. Baer, F. Keita, E. Schenker, F. Catarsi, L. Coluccini and others, 'AMON: a wearable multiparameter medical monitoring and alert system', *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol 8, iss 4, pp. 415-427, 2004.

- [35] V. Gay and P. Leijdekkers, 'Around the clock personalized heart monitoring using smart phones', *Proc. Smart Homes and Health Telematics*, pp. 82--89, 2006.
- [36] D. Sharma and others, 'Wireless Health Care Monitoring System with Data Security and Privacy', *International Journal of Research in Computer Engineering & Electronics*, vol 2, iss 2, 2013.
- [37] J. Silva, A. Arsenio and N. Garcia, 'Context-awareness for mobility management: A systems survey for healthcare monitoring', *2011 6th International Conference on Broadband and Biomedical Communications (IB2Com)*, pp. 18-23, 2011.
- [38] G. Paliwal and A. Kiwelekar, 'A comparison of mobile patient monitoring systems', in *Health Information Science, Lecture Notes in Computer Science*, vol 7798, 2013, Ed. Springer, pp. 198-209, 2013.
- [39] G. Türker and A. Kutlu, 'Evaluation of Healthcare Applications Wireless Sensor Network', *3rd World Conference on Innovation and Computer Science (INSODE-2013)*, in *Global Journal on Technology*, vol 4, iss 2, 2013.
- [40] V. Gay and P. Leijdekkers, 'A health monitoring system using smart phones and wearable sensors', *International Journal of ARM*, vol 8, iss 2, pp. 29-35, 2007.
- [41] E. Egbogah and A. Fapojuwo, 'A survey of system architecture requirements for health care-based wireless sensor networks', *Sensors*, vol 11, iss 5, pp. 4875-4898, 2011.
- [42] J. Ko, J. Lim, Y. Chen, R. Musvaloiu-E, A. Terzis, G. Masson, T. Gao, W. Destler, L. Selavo and R. Dutton, 'MEDiSN: Medical emergency detection in sensor networks', *ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS)*, vol 10, iss 1, p. 11, 2010.
- [43] J. Habetha, 'The myheart project - fighting cardiovascular diseases by prevention and early diagnosis', *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS '06. 28th Annual International Conference of the IEEE*, vol. Supplement, pp.6746-6749, 2006
- [44] A. van Halteren, D. Konstantas, R. Bults, K. Wac, N. Dokovsky, G. Koprinkov, V. Jones and I. Widya, 'MobiHealth: ambulant patient monitoring over next generation public wireless networks', *Stud Health Technol Inform*, vol 106, pp. 107-22, 2004.
- [45] K. Wac, R. Bults, B. Van Beijnum, I. Widya, V. Jones, D. Konstantas, M. Vollenbroek-Hutten and H. Hermens, 'Mobile patient monitoring: the MobiHealth system', *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE*, pp. 1238-1241, 2009.
- [46] F. Miao, X. Miao, W. Shangguan, Y. Li, 'MobiHealthcare System: Body Sensor Network Based M-Health System for Healthcare Application', *ETSN*, vol 01, iss 01, pp. 12-18, 2012.

- [47] D. Barakah and M. Ammad-uddin, 'A survey of challenges and applications of wireless body area network (WBAN) and role of a virtual doctor server in existing architecture', *2012 Third International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)*, pp. 214-219, 2012.
- [48] A. Hadjidj, M. Souil, A. Bouabdallah, Y. Challal and H. Owen, 'Wireless sensor networks for rehabilitation applications: Challenges and opportunities', *Journal of Network and Computer Applications*, vol 36, iss 1, pp. 1-15, 2013.
- [49] V. Shnayder, B. R. Chen, K. Lorincz, T. R. F. Fulford-Jones, M. Welsh, 'Sensor Networks for Medical Care', *Technical Report TR-08-05, Division of Engr. & Applied Sciences, Harvard Univ.*, 2005.
- [50] M. Baig and H. Gholamhosseini, 'Smart health monitoring systems: an overview of design and modeling', *Journal of medical systems*, vol 37, iss 2, pp. 1-14, 2013.
- [51] B. Latré, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia and P. Demeester, 'A survey on wireless body area networks', *Wireless Networks*, vol 17, iss 1, pp. 1-18, 2011.
- [52] T. Ahmed, K. Kyamakya and M. Ludwig, 'Architecture of a context-aware vertical handover decision model and its performance analysis for GPRS-WiFi handover', *11th IEEE Symposium on Computers and Communications, 2006. ISCC '06. Proceedings*, pp. 795-801, 2006.
- [53] B. Braem and C. Blondia, 'Supporting Mobility in Wireless Body Area Networks: an Analysis', *2011 18th IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT)*, pp. 1-6, 2011.
- [54] M. Al-Bashayreh, N. Hashim and O. Khorma, 'The Requirements to Enhance the Design of Context-Aware Mobile Patient Monitoring Systems Using Wireless Sensors', in *Context-Aware Systems and Applications, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 109, Ed. Springer*, pp. 62-71, 2013.
- [55] H. Na; Y. Choi, 'Conceptual design of personal wellness record for mobile health monitoring', *2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, vol., no., pp.410,411, 1-4 Oct. 2013.
- [56] D. Benferhat, 'Conception d'un système de communication tolérant la connectivité intermittente pour capteurs mobiles biométriques - Application à la supervision médicale de l'activité cardiaque de marathoniens', 2013.
- [57] K. Elgazzar, M. Aboelfotoh, P. Martin and H. Hassanein, 'Ubiquitous Health Monitoring Using Mobile Web Services', *Procedia Computer Science*, vol. 10, pp. 332-339, 2012
- [58] R. Bolla and M. Repetto, 'A Comprehensive Tutorial for Mobility Management in Data Networks', *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 16, no. 2, pp. 812-833, 2014.

- [59] Sana Ullah, Muhammad Imran, and Mohammed Alnuem, 'A Hybrid and Secure Priority-Guaranteed MAC Protocol for Wireless Body Area Network', *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2014.
- [60] Hamie, J.; Denis, B.; Richard, C., 'Constrained decentralized algorithm for the relative localization of wearable wireless sensor nodes', *Sensors*, 2012 IEEE, pp.1,4, 28-31 Oct. 2012.
- [61] V. Jones, A. van Halteren, I. Widya, N. Dokovsky, G. Koprinkov, R. Bults, D. Konstantas, R. Herzog, 'MOBIHEALTH: MOBILE HEALTH SERVICES BASED ON BODY AREA NETWORKS', in *M-Health: Emerging Mobile Health Systems*, R. Istepanian, S. Laxminarayan and C. Pattichis, Ed. springer, 2006.
- [62] P. Leijdekkers and V. Gay, 'Personal heart monitoring system using smart phones to detect life threatening arrhythmias', *CBMS 2006. 19th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, pp. 157-164, 2006.
- [63] T. Gao, T. Massey, L. Selavo, D. Crawford, B. Chen, K. Lorincz, V. Shnayder, L. Hauenstein, F. Dabiri, J. Jeng and others, 'The advanced health and disaster aid network: A light-weight wireless medical system for triage', *Biomedical Circuits and Systems, IEEE Transactions on*, vol 1, iss 3, pp. 203-216, 2007.
- [64] N. Oliver and F. Flores-Mangas, 'HealthGear: a real-time wearable system for monitoring and analyzing physiological signals', *BSN 2006 International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, p. 4, 2006.
- [65] J. Ng, B. Lo, O. Wells, M. Sloman, N. Peters, A. Darzi, C. Toumazou and G. Yang, 'Ubiquitous monitoring environment for wearable and implantable sensors (UbiMon)', *UbiComp'04 - The Sixth International Conference on Ubiquitous Computing, Poster Proceedings*, 2004.
- [66] W. Zhang, P. Passow, E. Jovanov, R. Stoll and K. Thurov, 'A secure and scalable telemonitoring system using ultra-low-energy wireless sensor interface for long-term monitoring in life science applications', *2013 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, pp. 617-622, 2013.
- [67] J. Tello, O. Manjarres, M. Quijano, A. Blanco, F. Varona and M. Manrique, 'Remote monitoring system of ECG and human body temperature signals', *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, vol 11, iss 1, pp. 314-318, 2013.
- [68] A. Majumder, I. Zerín, M. Uddin, S. Ahamed and R. Smith, 'SmartPrediction: A real-time smartphone-based fall risk prediction and prevention system', *Proceedings of the 2013 Research in Adaptive and Convergent Systems (RACS '13)*, pp. 434-439, 2013.
- [69] J.E. García, R.A Torres, 'Telehealth mobile system', *Pan American Health Care Exchanges (PAHCE)*, pp.1-5, 2013.

- [70] J. Caldeira, J. J. Rodrigues and P. Lorenz, 'Intra-Mobility Support Solutions for Healthcare Wireless Sensor Networks—Handover Issues, *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, no. 11, November 2013.
- [71] H. Cao, V. Leung, C. Chow and H. Chan, 'Enabling technologies for wireless body area networks: A survey and outlook', *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 12, pp. 84-93, 2009.
- [72] M. Deylami and E. Jovanov, 'A Distributed Scheme to Manage The Dynamic Coexistence of IEEE 802.15.4-Based Health-Monitoring WBANs', *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, vol. 18, no. 1, pp. 327-334, 2014.
- [73] T. Lemlouma, A. Rachedi, A., M.A. Chalouf, S.A. Chellouche, 'A new model for NGN pervasive e-Health services', *2013 First International Symposium on Future Information and Communication Technologies for Ubiquitous HealthCare (UbiHealthTech)*, vol., no., pp.1,5, 1-3 July 2013
- [74] M. Dumitrache, S. Pasca, 'Fall detection system for elderly with GSM communication and GPS localization', *8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2013, vol., no., pp.1,6, 23-25 May 2013
- [75] A. Ghose, P. Sinha, C. Bhaumik, A. Sinha, A. Agrawal, and A.D. Choudhury, 'UbiHeld: ubiquitous healthcare monitoring system for elderly and chronic patients'. *ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication (UbiComp '13 Adjunct)*, 2013.
- [76] A. Bourouis, M. Feham and A. Bouchachia, 'A New Architecture of a Ubiquitous Health Monitoring System A Prototype of Cloud Mobile Health Monitoring System', *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9, Issue 2, No 2, March 2012.
- [77] P. J Fortier, B. Viall, 'Development of a Mobile Cardiac Wellness Application and Integrated Wearable Sensor Suite', *2011 5th International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM)*, 2011.
- [78] Z. Lv, F. Xia, G. Wu, L. Yao, Z. Chen, 'iCare: A Mobile Health Monitoring System for the Elderly', *2010 IEEE/ACM International Conference on Green Computing and Communications & 2010 IEEE/ACM International Conference on Cyber, Physical and Social Computing*, 2010.
- [79] M. Quwaider and Y. Jararweh, 'Cloudlet-based Efficient Data Collection in Wireless Body Area Networks', *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 50, pp. 57-71, 2015.
- [80] Z. Sanaei, S. Abolfazli, A. Gani and R. Buyya, 'Heterogeneity in Mobile Cloud Computing: Taxonomy and Open Challenges', *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 369-392, 2014.
- [81] P. Khan, N. Ullah, S. Ullah and K. Kwak, 'Seamless Interworking Architecture for WBAN in Heterogeneous Wireless Networks with QoS Guarantees', *J Med Syst*, vol. 35, no. 5, pp. 1313-1321, 2011.

- [82] A. Maciucă, D. Popescu, M. Strutu, G. Stamatescu, 'Wireless sensor network based on multilevel femtocells for home monitoring', *2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, vol.01, no., pp.499,503, 12-14 Sept. 2013.
- [83] Cherkaoui, E.H.; Agoulmine, N., 'Context-aware mobility management with WiFi/3G offloading for ehealth WBANs', *2014 IEEE 16th International Conference on Applications and Services (Healthcom) e-Health Networking*, vol., no., pp.472,476, 15-18 Oct. 2014.
- [84] Caldeira, J. Rodrigues and P. Lorenz, 'Toward ubiquitous mobility solutions for body sensor networks on healthcare', *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 5, pp. 108-115, 2012.
- [85] Gueguen, C.; Rachedi, A.; Guizani, M., 'Incentive Scheduler Algorithm for Cooperation and Coverage Extension in Wireless Networks', *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.62, no.2, pp.797,808, Feb. 2013.
- [86] Y. Han, Z. Jin, J. Cho, and T.S. Kim, 'A Prediction Algorithm for Coexistence Problem in Multiple WBANs Environment', *2014 International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication ICUIMC (IMCOM)*.
- [87] C.F. Chiasserini and R.R. Rao, 'Coexistence Mechanisms for Interference Mitigation in the 2.4-GHz ISM Band', *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 2, no. 5, September 2003.
- [88] D. Yang, Y. Xu, and M. Gidlund, 'Wireless coexistence between IEEE 802.11- and IEEE 802.15.4-based networks: A Survey', *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, vol. 2011, pp. 1-17, 2011.
- [89] K. Bian, J. Park and B. Gao, 'Cognitive Radio Networks: Medium Access Control for Coexistence of Wireless Systems', Chapter 2: 'Taxonomy of Coexistence Mechanism', Springer 2014.
- [90] R. Cavallari, F. Martelli, R. Rosini, C. Buratti and R. Verdone, 'A Survey on Wireless Body Area Networks Technologies and Design Challenges', *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 3, 3rd quarter 2014.
- [91] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee and J. Liu, 'Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems', *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C*, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, 2007.
- [92] S. Yousaf, M. Akbar, N. Javaid, A. Iqbal, Z. A. Khan, U. Qasim, 'CEMob Critical Data Transmission in Emergency with Mobility Support in WBANs', *2014 IEEE 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 2014.
- [93] M. Nabi, M. Geilen, and T. Basten, 'MoBAN: a configurable mobility model for wireless body area networks'. *4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools '11)*, 2011.

- [94] M. Baig, H. Gholamhosseini and M. Connolly, 'A comprehensive survey of wearable and wireless ECG monitoring systems for older adults', *Medical & biological engineering & computing*, vol 51, iss 5, pp. 485-495, 2013.
- [95] <http://www.bluetooth.com/Pages/Press-Releases-Detail.aspx?ItemID=4> - Accessed 14-02-2015
- [96] <http://www.marketwatch.com/story/samsung-unveils-industry-first-bluetooth-mesh-network-enabled-smart-led-light-bulb-2014-06-03> - Accessed: 12/02/2015
- [97] <http://www.csr.com/news/pr/2014/csr-mesh> - Accessed: 12/02/2015
- [98] K. Mikhaylov and J. Tervonen, 'Multihop Data Transfer Service for Bluetooth Low Energy', *2013 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*.
- [99] Gueguen, C.; Rachedi, A.; Guizani, M., 'Incentive Scheduler Algorithm for Cooperation and Coverage Extension in Wireless Networks', *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.62, no.2, pp.797,808, Feb. 2013.
- [100] Boulanouar, I.; Rachedi, A.; Lohier, S.; Roussel, G., 'Energy-aware object tracking algorithm using heterogeneous wireless sensor networks', *2011 IFIP Wireless Days (WD)*, vol., no., pp.1,6, 10-12 Oct. 2011.