

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene

Faculté d'Électronique et d'Informatique



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade** de **DOCTEUR EN SCIENCES**

En : Informatique

Spécialité : Informatique Mobile

Par : Tiberkak Allal

Sujet

Environnement domotique pour l'e-santé

Soutenue publiquement, le 08/10/2019, devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BABA ALI Ahmed Riadh	Professeur à l'USTHB	Président
BELKHIR Abdelkader	Professeur à l'USTHB	Directeur de thèse
TANDJAOUI Djamel	Directeur de recherche au CERIST	Examineur
BENZAID Chafika	Maître de conférences classe A à l'USTHB	Examinatrice
CHALLAL Yacine	Professeur à l'ESI	Examineur
NOUALI Omar	Directeur de recherche au CERIST	Examineur
LEMLOUMA Tayeb	MC, HDR à l'Université Rennes1, France	Invité

Résumé : Ce travail présente un environnement domotique pour l'e-santé concrétisé par un système de gestion d'urgences à domicile, *HEMS (Home Emergency Management System)*. Le système est conçu de telle sorte à répondre à un ensemble de recommandations (généricité, accessibilité à distance, interopérabilité, sécurité, communication en temps réel de l'audio/vidéo et les données, etc.). De plus, ce système exploite le *FSM à base de la théorie des ensembles*. Le contrôle et la surveillance à distance sont assurés par *WebRTC* permettant la communication temps-réel. Pareillement, dans le but de simplifier la communication entre les appareils, un nouveau middleware *tinyUPnP* est proposé. *tinyUPnP* réduit la taille des messages échangés dans *UPnP* tout en préservant ses fonctionnalités. Pour faciliter l'interaction du *HEMS* avec les habitants, le concept de l'*identité relative à base du contexte* a été introduit. Ce concept est fondé sur l'identification des objets et des sujets de l'interaction en fonction de leur emplacement dans le contexte actuel et de la capacité de communication de l'habitant. Dans le but de sécuriser le *HEMS* proposé, il est recommandé d'utiliser (i) *HTTPS*, *WebSocket* sécurisé et le mode crypté du *WebRTC* pour protéger les données, (ii) *mots de passe* pour authentifier les intervenants, (iii) *protection des serveurs publics*, (iv) *mécanisme de traçabilité*, et (v) *contrôle d'accès*. Finalement, un mécanisme de contrôle d'accès à base du contexte est défini de telle sorte que les règles soient compréhensibles facilement par les habitants.

Mots clés : Environnement domestique d'e-santé, Système de gestion des urgences à domicile, Machine à états finis à base de la théorie des ensembles, *WebRTC*, *TinyUPnP*, Identité relative basée sur le contexte.

Summary: This work presents a home environment for e-health realized by a home emergency management system (*HEMS*). *HEMS* is designed to meet a set of recommendations (genericity, remote accessibility, interoperability, security, real-time communication of audio/video and data, etc.). Additionally, this system exploits the *FSM based on set theory*. Remote control and monitoring is assured by *WebRTC* for real-time communication. Similarly, to simplify communication between devices, a new middleware, *tinyUPnP*, is proposed. *tinyUPnP* reduces the size of messages exchanged in *UPnP* while preserving its functionalities. To facilitate the interaction of *HEMS* with inhabitants, the concept of *context-based relative identity* is introduced. This concept is based on the identification of interaction objects and subjects according to their location in the current context and communication capacity of inhabitant. To secure the proposed *HEMS*, it is recommended to use (i) *HTTPS*, *Secured WebSocket* and *encrypted WebRTC* to protect data, (ii) *passwords* to authenticate health professionals, (iii) *protection of public servers* (iv) *traceability mechanism*, and (v) *access control*. Finally, a *context-based access control mechanism* is defined so that the rules are easily understood by the inhabitants.

Keywords: Home environment for e-Health, Home emergency management system, Finite state machine based on set theory, *WebRTC*, *TinyUPnP*, Context-based relative identity.

ملخص: يقدم هذا العمل بيئة منزلية للصحة الإلكترونية تحققت من خلال نظام إدارة الطوارئ المنزلية (*HEMS*). تم تصميم *HEMS* لتلبية مجموعة من التوصيات (العمومية، إمكانية الوصول عن بُعد، قابلية التشغيل البيئي، الأمن، اتصالات في الوقت الحقيقي للصوت/الفيديو والبيانات، إلخ). بالإضافة إلى ذلك، يستغل هذا النظام *FSM* المؤسس على نظرية المجموعات. يتم توفير المراقبة والتحكم عن بعد بواسطة *WebRTC* للاتصال في الوقت الحقيقي. وبالمثل، لتبسيط الاتصال بين الأجهزة، يُقترح برنامج وسيط جديد، *tinyUPnP*. *tinyUPnP* يقلل من حجم الرسائل المتبادلة في *UPnP* مع الحفاظ على وظائفه. لتسهيل تفاعل *HEMS* مع السكان، تم تعريف الهوية النسبية المستندة إلى السياق. ويستند هذا المفهوم على تحديد الأشياء والأشخاص المعنيين بالتفاعل على أساس موقعهم في السياق الحالي وقدرة الاتصال للسكان. لتأمين نظام *HEMS* المقترح، يوصى باستخدام (1) *HTTPS* و *Secured WebSocket* و *WebRTC* المشفر لحماية البيانات، (2) كلمات المرور للتأكد من هوية المهنيين الصحيين، (3) حماية الخوادم العامة، (4) آلية التتبع و (5) التحكم في الوصول. أخيرًا، وضع آلية لمراقبة الدخول على أساس السياق حتى تكون القواعد مفهومة بسهولة من قبل الأشخاص المعنيين.

كلمات مفتاحية: البيئة المنزلية للصحة الإلكترونية، نظام إدارة الطوارئ المنزلية، *FSM* على أساس نظرية المجموعات، *WebRTC*، *TinyUPnP*، الهوية النسبية المستندة إلى السياق.

Remerciements

D'abord, tous mes sentiments de respect et de reconnaissance à mon directeur de thèse le Professeur BELKHIR Abdelkader et le Docteur LEMLOUMA Tayeb qui étaient toujours disponibles pendant la préparation de ma thèse, je les remercie pour leur confiance ; c'est grâce à leurs encadrement et encouragement que ce travail a pu se réaliser. J'ai appris avec le Professeur BELKHIR Abdelkader depuis mon magistère le sens du défi scientifique et du travail rigoureux. Avec le Docteur LEMLOUMA Tayeb, j'ai appris le sens de la rigueur et de la responsabilité scientifique.

Par la suite, je tiens à remercier le Professeur BABA ALI Ahmed Riadh pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de cette thèse. Je remercie également tous les membres du jury : Professeur BELKHIR Abdelkader, Professeur TANDJAOUI Djamel, Docteur BENZAID Chafika, Professeur CHALLAL Yacine, Professeur NOUALI Omar, et Docteur LEMLOUMA Tayeb. Je leur suis très reconnaissant pour l'intérêt qu'ils accordent à mes travaux.

Le grand merci au Docteur HENTOUT Abdelfetah et au Docteur BOUABDALLAH Ahmed pour leur soutien et encouragements.

Tous mes sentiments de respect à tous mes professeurs et enseignants depuis que j'ai pris le stylo dans la main.

Je remercie ma famille et mes amis ainsi que tous ceux qui m'ont aidé et soutenu pour pouvoir achever ce travail.

En final, je tiens à exprimer mes sentiments de respect et de gratitude à mes parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours encouragé pendant la préparation de cette thèse.

À tous qui tâchent à rendre la vie des autres plus facile.

Rechercher des connaissances du berceau à la tombe

Table des matières

Remerciements.....	ii
Table des matières.....	v
Glossaire.....	ix
Liste des figures	xii
Liste des tableaux.....	xiii
Chapitre I : Introduction générale	1
I.1 Contexte.....	1
I.1.1 Maison intelligente.....	1
I.1.2 e-santé à domicile.....	2
I.2 Problématique.....	2
I.3 Contribution.....	3
I.3.1 Gestion des services	3
I.3.2 Contrôle et surveillance à distance.....	3
I.3.3 Communication inter-appareils	4
I.3.4 Interaction homme-maison	4
I.3.5 Sécurité et vie privée.....	4
I.4 Organisation de la thèse	4
I.4.1 Chapitre 2 : Maison intelligente.....	5
I.4.2 Chapitre 3 : e-santé à domicile.....	5
I.4.3 Chapitre 4 : Environnement domotique pour la e-santé	5
I.4.4 Chapitre 5 : Gestion de situations d'urgence à domicile à base de FSM.....	5
I.4.5 Chapitre 6 : Contrôle et surveillance à distance.....	5
I.4.6 Chapitre 7 : Conclusion générale et perspectives	5
Chapitre II : Maison Intelligente.....	6
II.1 Introduction	6
II.2 Maison intelligente	7
II.3 Acteurs principaux de la maison intelligente	7
II.3.1 Habitant.....	7
II.3.2 Appareils domestiques	8
II.3.3 Passerelle domestique	8
II.4 Technologies de communication à domicile	9
II.4.1 Communication par PLC	9
II.4.2 Fibre optique	9
II.4.3 Radio	10
II.4.4 Infrarouge.....	10
II.5 Middleware.....	10
II.6 Technologies de connexion à Internet.....	11

II.6.1	Lignes téléphoniques.....	11
II.6.2	Fibre optique	11
II.6.3	Ligne d'alimentation électrique	11
II.6.4	Internet mobile	11
II.6.5	Internet par satellite.....	12
II.7	Services domestiques	12
II.7.1	Contrôle à distance des appareils domestiques	12
II.7.2	Confort	12
II.7.3	e-santé	13
II.7.4	Sûreté et sécurité	13
II.7.5	Préservation de la vie privée	14
II.7.6	Énergie	15
II.7.7	Interaction entre l'utilisateur et les appareils domestiques	15
II.8	Conclusion.....	16
Chapitre III	: e-Santé à Domicile	17
III.1	Introduction	17
III.2	Appareils domestiques	17
III.3	Infrastructure domestique pour l'e-santé.....	18
III.3.1	Maisons intelligentes.....	18
III.3.2	Body Area Network (BAN)	18
III.3.3	Robots à domicile.....	19
III.4	Services de santé à domicile.....	19
III.4.1	Détection de chutes	19
III.4.2	Reconnaissance d'activités	20
III.4.3	Réhabilitation à domicile	20
III.4.4	Administration de médicaments.....	21
III.4.5	Gestion des situations d'urgence.....	21
III.4.6	Diagnostic à domicile.....	22
III.4.7	Thérapie à domicile.....	22
III.4.8	Télesurveillance continue	23
III.5	Prise de décision.....	23
III.5.1	Prise de décisions à base de règles.....	24
III.5.2	Prise de décision à base des FSM	24
III.6	Surveillance à distance à base de Technologies Web	25
III.7	Environnement domestique pour l'e-santé.....	25
III.7.1	Services de base	25
III.7.2	Exigences	26
III.8	Conclusion.....	27
Chapitre IV	: Environnement domotique pour l'e-santé.....	28
IV.1	Introduction	28
IV.2	Environnement domotique pour l'e-santé proposé	28
IV.3	Conception du système.....	29
IV.4	Communication inter-appareils domestiques	31
IV.4.1	tinyUPnP.....	31
IV.4.1.1	Protocole <i>tinyHTTP</i>	31
IV.4.1.2	Protocole <i>tinySSDP</i>	32
IV.4.1.3	Protocole <i>tinyGENA</i>	32
IV.4.1.4	Protocole <i>tinySOAP</i>	33
IV.4.1.5	<i>tinyUPnPProxy</i>	33
IV.4.2	Tests et résultats	34
IV.4.2.1	Test de faisabilité	34

IV.4.2.2 Test de performance	34
IV.4.3 Comparaison et discussion.....	35
IV.5 Interaction habitant-maison intelligente	35
IV.5.1 Concept de l'« <i>Identité relative</i> ».....	36
IV.5.2 Architecture du système de gestion de l'identité relative	37
IV.5.3 Tests et résultats	37
IV.5.4 Comparaison et discussion.....	38
IV.6 Sécurité des environnements domotiques pour l'e-santé	39
IV.6.1 Mécanismes de sécurité	39
IV.6.2 Comparaisons et discussions.....	40
IV.7 Conclusion.....	41
Chapitre V : Gestion de situations d'urgence à domicile à base de FSM.....	42
V.1 Introduction	42
V.2 Gestion des situations d'urgence	42
V.2.1 Contexte	43
V.2.2 FSM à base de théories des ensembles	43
V.2.3 Cas d'utilisation (gestion de l'urgence de diabétique à domicile)	44
V.3 Propriétés du FSM proposé	46
V.3.1 Chemins et cycles.....	46
V.3.2 Complétude	47
V.3.3 Déterminisme	47
V.3.4 Connectivité	47
V.3.5 Passibilité des conditions	47
V.3.6 Vérification	47
V.4 Algèbre des processus	48
V.4.1 Événement.....	48
V.4.2 Ensemble Vide	48
V.4.3 Attendre.....	48
V.4.4 Gestion des exceptions.....	48
V.4.5 Séquence	49
V.4.6 Concurrence	49
V.4.7 Synchronisation.....	49
V.4.8 Conditionnel.....	49
V.4.9 Aiguilleur	49
V.4.10 Répétition	50
V.5 Tests de validation et discussion des résultats.....	50
V.5.1 Plateforme de test.....	51
V.5.2 Résultats de la scalabilité	51
V.6 Comparaison et discussion	51
V.7 Conclusion.....	52
Chapitre VI : Contrôle et surveillance à distance	53
VI.1 Introduction	53
VI.2 Communication avec la passerelle domestique de l'extérieur	53
VI.2.1 Fonctionnement du WebRTC	54
VI.2.2 Connexion Passerelle domestique/Application Web	54
VI.2.3 Monitoring à distance.....	56
VI.3 Cas d'utilisation.....	56
VI.3.1 La passerelle domestique initie la connexion à l'intervenant	56
VI.3.2 L'intervenant se connecte au réseau domestique	57
VI.3.3 L'intervenant se connecte à plusieurs passerelles domestiques.....	57
VI.3.4 Plusieurs intervenants se connectent à une seule passerelle	57

VI.4	Expérimentations et résultats.....	58
VI.4.1	Plateforme de test.....	59
VI.4.2	Scénarios expérimentaux	59
VI.4.2.1	Test de faisabilité.....	59
VI.4.2.2	Évaluation du délai d’aller-retour.....	60
VI.4.2.3	Discussion des résultats obtenus.....	61
VI.4.3	Comparaison et discussion.....	62
VI.5	Conclusion	66
Chapitre VII : Conclusion générale et perspectives.....		67
Références bibliographiques		70

Glossaire

3D	Three-dimensional space
ACP	Algebra of Communicating Processes
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ARDG	Abstracted Residential Demand Generator
AVC	Accident Vasculaire Cérébral
AUI	Active User Interface
BAN	Body Area Network
BB-PLC	Broadband Power Line Communications
BG	Blood Glucose
BLE	Bluetooth Low Energy
BPEL	Business Process Execution Language
BPL	Broadband over Power-Lines
CCS	Calculus of Communicating Systems
CoAP	Constrained Application Protocol
CRBAC	Contextual Rule-Based Access Control
CRP	C-reactive protein
CSP	Communicating Sequential Processes
CSS	Cascading Style Sheets
CT-PCA	Coordinate Transformation and Principal Component Analysis
DME	Dossier Médical Électronique
DPWS	Devices Profile for Web Services
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
ECaaS	ElderCare-as-a-SmartService
ECG	Electrocardiography
e-gov	electronic Government
e-health	electronic health
EIA-632	standard EIA-632 (Electronic Industries Alliance)
EIS	Electrochemical Impedance Spectroscopy
EMG	Electromyography
EM-psychiatric	Emergency psychiatric
EXI	Efficient Extensible Interchange
FDA	Food and Drug Administration
FFSM	Fuzzy Finite State Machine
FITB	Fiber In The Building
FSM	Finite State Machine
FSMFT	Finite State Machine based on Fuzzy Transitions
GENA	General Event Notification Architecture
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications

GUI	Graphical User Interface
HDLS	High Speed Digital Subscriber Line
HEMS	Home Emergency Management System
HFSM	Hierarchical Finite State Machine
HiLes	High-Level Specification of Embedded Systems
HIPAA	Health Insurance Portability and Accountability Act
HandSOME	Hand Spring Operated Movement Enhancer
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	HyperText Transfer Protocol Secure
ICT	Information and Communication Technology
iDTV	Integrated Digital Television
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IM	Instant Messaging
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPv6	Internet Protocol version 6
IrDa	Infrared Data Association
JHTTP	JavaScript Object Notation Hypertext Transfer Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
LOTOS	Language Of Temporal Ordering Specification
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine-to-Machine
M3	Mesure Machine-Machine
MAC	Message Authentication Code
MedRem	Medication Reminder
MINDS	Meshed and Internet Networked Devices System
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
NAT	Network Address Translation
NFC	Near Field Communication
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OSA	Obstructive Sleep Apnea
OSGi	Open Services Gateway initiative
OSVM	One-Class Support Vector Machine
PDSL	Power line Digital Subscriber Line
pH	Power of Hydrogen
PLC	Power Line Communication
POF	Plastic Optical Fiber
PPG	PhotoPlethysmoGram
PPCOM	Power Line Communication Power Controlled Outlet Module
PRBAC	Privacy-aware Rule-Based Access Control
PSG	Polysomnography
QoS	Quality of Service
RBAC	Rule-Based Access Control
RFID	Radio Frequency Identification
RUPERT	Robotic Upper Extremity Repetitive Trainer
SAHS	Syndrome d'Hypopnée de l'Apnée du Sommeil
SAMU	Service d'aide médicale urgente
SAOP	Simple Object Access Protocol
SCTP	Stream Control Transmission Protocol
SDK	Software Development Kit

SGHAN	Smart Grid Home Area Network
SHEMS	Smart Home Energy Management System
SHSM	Smart Home Service Middleware
SID	Session Identifier
SMS	Short Message Service
SOA	Service-Oriented Architecture
SOAP	Simple Object Access Protocol
SQL	Structured Query Language
SRTP	Secure Real-time Transport Protocol
SSDP	Simple Service Discovery Protocol
SSL	Secure Sockets Layer
STUN	Simple Traversal of UDP through NAT
SWoT	Social Web of Things
TBAN	Telemetric Body Area Network
TCP	Transmission Control Protocol
tinySSDP	tiny Simple Service Discovery Protocol
tinyGENA	tiny General Event Notification Architecture
tinyHTTP	tiny Hypertext Transfer Protocol
tinySOAP	tiny Simple Object Access Protocol
tinyUPnP	tiny Universal Plug and Play
TLS	Transport Layer Security
TO	Time Out
TURN	Traversal Using Relay NAT
UDP	User Datagram Protocol
UML	Unified Modeling Language
UPnP	Universal Plug and Play
URL	Uniform Resource Locator
USN	Unique Session Name
UWB	Ultra WideBand
VLC	Visible Light Communication
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice Over Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network
WBAN	Wireless Body Area Network
WebRTC	Web Real-Time Communication
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WHMS	Wearable Health Monitoring Systems
WoT	Web of Things
WSN	Wireless Sensor Networks
XML	Extensible Markup Language

Liste des figures

Figure 1. Architecture globale du système HEMS proposé.....	30
Figure 2. Réseau domestique géré par tinyUPnP.....	31
Figure 3. Identification relative d'un stylo rouge dans différents contextes.....	36
Figure 4. Architecture du système de gestion de l'identité relative.....	37
Figure 5. Interprétation du message d'alerte en format d'image.	38
Figure 6. Le FSM proposé pour la gestion du diabète.	45
Figure 7. Exemple de FSM pour illustrer la différence entre les chemins.....	46
Figure 8. Algèbre de processus et FSM à base des théories des ensembles	50
Figure 9. Scalabilité du HEMS proposé.....	51
Figure 10. Établissement des sessions WebRTC entre la passerelle domestique et les intervenants.....	55
Figure 11. Scenarios de connexion à la passerelle domestique.	58
Figure 12. Interfaces d'une application Web pour la surveillance à distance.....	60
Figure 13. Délai d'aller-retour pour le canal WebRTC de données, WebSocket sécurisé et HTTPS.	61

Liste des tableaux

Tableau 1. Comparaison entre la taille des messages de tinyUPnP et ceux de UPnP	34
Tableau 2. Comparaison du tinyUPnP avec d'autres solutions	35
Tableau 3. Comparaison de la solution à base de l'identité relative avec d'autres solutions de l'état de l'art.	38
Tableau 4. Comparaison de la solution proposée avec celles de l'état de l'art.....	40
Tableau 5. Comparaison de la solution proposée avec d'autres solutions de la littérature.....	52
Tableau 6. Comparaison de la solution proposée de gestion des services domestique à distance avec d'autres solutions de l'état de l'art.	65

Chapitre I : Introduction générale

I.1 Contexte

Le concept de l'environnement domotique pour l'e-santé englobe deux termes principaux ; à savoir :

- La santé électronique qui est définie par l'OMS [1] en tant que « *l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans le domaine de la santé* » [2], et
- La domotique ou la maison intelligente qui repose sur l'équipement des appareils domestiques par des éléments de calcul et de communication et les connecter entre eux afin de rendre leurs fonctionnements réactifs aux besoins des habitants.

I.1.1 Maison intelligente

La maison intelligente est le concept que décrit l'automatisation de différents services domestiques pour qu'ils soient réactifs aux besoins des habitants. Pour rendre la maison intelligente, on doit installer des appareils intelligents (qui offrent des services de base) avec des technologies de communication. Parmi les services offerts par ces appareils domestiques, la détection de présence des habitants, la mesure de la température, la détection de fuites du gaz, etc. Concernant la communication, diverses technologies existent et qui sont déployables à domicile ; on cite Wi-Fi, Zigbee, PLC, etc. La coexistence des technologies hétérogènes à domicile n'est pas évitable pour plusieurs raisons. Parmi ces raisons, on cite l'absence d'une technologie universelle utilisable pour toutes les situations, la diversité des préférences et besoins des habitants, la diversité des constructeurs et la concurrence entre eux, la difficulté de proposer et de se mettre en accord sur des normes et standards universels.

Pour rendre la maison intelligente, il faut aussi avoir une passerelle domotique puissante pour coordonner l'exécution des services domestiques dans l'objectif d'offrir des services plus complexes aux habitants. La passerelle domestique assure, également, la connexion à Internet. De plus, parmi ses rôles, on peut citer l'exécution des logiciels permettant d'automatiser le fonctionnement des appareils domestiques, l'interaction avec les habitants et le contrôle d'accès à distance.

La diversité de technologies impose l'utilisation de middlewares pour gérer cette interopérabilité. Les middlewares offrent d'autres fonctionnalités telles que la découverte et l'invocation de services disponibles sur le réseau domestique. De plus, il existe plusieurs tentatives pour mettre en œuvre des middlewares normalisées à domicile ; on cite en particulier l'*UPnP* proposé par *UPnP Forum*, *Jini* développé par *Sun Microsystems* et *OSGi* développé par *OSGi Alliance* [3]. Cependant, à ce jour, aucun middleware capable de gérer tous les services et réseaux domestiques n'a été développé.

L'habitant est l'élément le plus important pour le concept de la maison intelligente. C'est le bénéficiaire de tous les services offerts par la maison. Parmi ces services le confort, la gestion de la consommation d'énergie, la sécurité, etc. Généralement, plusieurs habitants occupent une seule maison. Par conséquent, ils ont des aptitudes et des préférences, et attendent de la maison des services différents. Cela va compliquer davantage la situation si la maison se trouve obligée à fournir à ses habitants des services conflictuels en même endroit et en même temps.

I.1.2 e-santé à domicile

Généralement, les personnes dépendantes (qui ont besoin d'aide pour effectuer leurs tâches quotidiennes telles que les personnes âgées, les bébés, les malades chroniques ou hospitalisés à domicile, etc.) passent la majorité de leur temps à domicile, car c'est à l'intérieur où elles peuvent pratiquer leur vie tranquillement (souvent pour le travail, les loisirs, les sports, etc.). Par contre, les personnes en bonne santé passent pratiquement la majorité des activités loin de la maison [4]. Afin de fournir de l'aide aux personnes dépendantes au niveau de leurs maisons, ces dernières doivent être en mesure d'assurer à leurs habitants des services d'e-santé, surtout pour les personnes dépendantes.

D'abord, ces maisons doivent être équipées d'appareils médicaux (ou à usage commun) nécessaires. Parmi les services offerts à domicile, on cite : la détection ou la prévention des situations d'urgence (comme les chutes, l'hyperglycémie, etc.), l'assistance aux habitants quand ils sont dans le besoin (rappel de médicaments, guidage dans leurs activités, etc.), le diagnostic à distance, le suivi d'exercices de rééducation, etc. Il y a lieu de préciser que fournir des services médicaux et plus complexe que des services de confort. Car, dans le cas où la maison ne pourrait pas fournir le service à temps, le service fourni n'est pas adéquat, ou n'est pas effectué convenablement, l'habitant peut subir des conséquences graves sur sa santé et même peut être sur sa vie.

Un autre point qui complique davantage la gestion des services médicaux est le fait que quelques habitants sont plus dépendants de certains appareils de la maison (par exemple, aux équipements liés à leur état de santé). En outre, les habitants ne peuvent pas changer facilement un équipement avec un autre équivalent ayant un mode opératoire différent. On peut également se retrouver avec des habitants ayant des maladies différentes ou un habitant avec plusieurs maladies.

I.2 Problématique

En se basant sur ce qui a été mentionné précédemment, la mise en œuvre d'un système de santé intelligent pour contrôler la maison est une tâche très difficile, principalement s'il doit prendre les services de santé en considération. Aussi, plusieurs paramètres doivent être pris en charge tels que la diversité et la dynamique des états des appareils, les technologies de communication, les préférences des habitants, les besoins des habitants, etc. En outre, il faut faire face à d'autres défis tels que la fiabilité, la sécurité, l'acceptabilité d'un tel système, etc.

Le but de ce travail est de concevoir un environnement intelligent qui offre des services de santé à domicile. Cet environnement doit faire face aux problèmes suivants :

- *Gestion automatique des services d'e-santé* : cette gestion permet de minimiser les interventions manuelles et fournir le plus tôt possible de l'aide, surtout quand le temps d'intervention joue un rôle crucial. Aussi, le système de gestion doit être adaptable et son fonctionnement ne doit pas être affecté par la diversité et la dynamique des services domestiques et des habitants. Enfin, l'implémentation, la vérification, l'ajout/suppression de nouveaux algorithmes de gestion devraient être faciles.
- *Communication entre les services* : pour faire face au problème d'hétérogénéité des technologies et de l'interopérabilité, il est indispensable d'optimiser les ressources disponibles soit concernant l'infrastructure de communication (bande passante, etc.), soit les appareils (consommation de l'énergie). De plus, il est préférable d'offrir de l'intelligence locale pour permettre à un ensemble de services de se coordonner pour gérer localement, quand c'est possible, les situations anormales.
- *Contrôle à distance* : il est nécessaire pour la gestion manuelle des problèmes qui ne sont pas solvables automatiquement. L'environnement domotique doit fournir les moyennes aux intervenants afin d'accéder à distance et fournir l'aide nécessaire aux habitants au niveau de leurs domiciles. Les intervenants sont des personnes compétentes qui peuvent être des professionnels de la santé (médecins, soignants ou aides-soignants, etc.), des membres de la famille (pères, fils, etc.), SAMU, protection civile, etc. Le système devrait permettre le contrôle de services à domicile, la visualisation de l'environnement domestique, la communication avec les gens qui se trouve à l'intérieur de la maison, etc. Pareillement, ce

système devrait s'adapter à l'environnement où se trouvent l'intervenant (configuration réseaux, appareil et software utilisés, etc.).

- *Communication avec les habitants* : la communication doit être la plus naturelle possible. À cet effet, le système de communication devrait prendre en considération les capacités des habitants en termes de communication et principalement leurs déficiences de communication. En outre, le système devrait avoir la capacité d'envoyer des messages aux habitants selon la manière qu'ils comprennent (surtout quand le système communique avec des étrangers qui ne comprennent pas la langue locale, de personnes aveugles ou les sourds, etc.).
- *Sécurité des données des habitants et préservation de leurs vies privées* : ces deux aspects sont exigés par les habitants afin d'accepter de mettre en œuvre un système de contrôle à distance à leurs maisons ; principalement, si ces environnements sont équipés de caméras. Le contrôle d'accès aux données médicales doit être bien conforme à la réglementation imposée par la loi en vigueur.

I.3 Contribution

Dans ce travail, on va présenter un environnement à domicile pour l'e-santé concrétisé par un système de gestion d'urgences à domicile. Ce système est nommé *HEMS (Home Emergency Management System)*. Le système est conçu de telle sorte qu'il réponde à un ensemble de recommandations : être générique, permettre l'accès à distance, gérer l'interopérabilité, offrir la sécurité, être fiable, réagir en temps réel, assurer la mobilité, assurer l'hétérogénéité, gérer la qualité de service (QoS), permettre la *Traversée de NAT*, permettre une communication bidirectionnelle, faciliter l'interaction homme-machine, etc. Ces critères sont déduits de l'état de l'art sur les maisons intelligentes et celui de l'e-santé à domicile. Le système proposé assure les cinq services de haut niveau : la gestion automatique des services, la communication entre les appareils, la communication entre la maison et les habitants, le contrôle à distance, et la sécurité. Dans ce qui suit, nous présentons notre contribution ainsi que la mise en œuvre de chacun de ces services.

I.3.1 Gestion des services

La gestion des services domestiques pour répondre aux besoins des habitants est un élément important des fonctionnalités du *HEMS* proposé. Lors de la conception du système de gestion des services domestiques, certaines recommandations sont prises en considération telles que la généralité de la solution, la facilité de déploiement, et l'adaptabilité aux différentes situations. En outre, la solution proposée se base sur l'utilisation des *FSM* à base de théories des ensembles.

I.3.2 Contrôle et surveillance à distance

Il n'est pas possible, au moins à court ou à moyen terme, de développer un système parfait de gestion des services à domicile. Par conséquent, le système de gestion des services est amélioré par l'intégration de la possibilité d'intervenir manuellement et à distance pour la gestion des situations complexes. La conception de cette fonctionnalité doit prendre en compte la flexibilité, la transmission bidirectionnelle vidéo/audio/données, la QoS, l'interopérabilité, etc. À cet effet, la technologie *WebRTC* qui est basée sur le Web avec la disponibilité d'implémentations natives sur différentes plateformes existantes a été adoptée. Ainsi, le canal de données du *WebRTC* est utilisé pour transmettre les commandes et leurs réponses. De plus, le *HEMS* permet la coopération de plusieurs intervenants pour donner l'aide à un seul patient, comme il permet à un seul intervenant de donner l'aide à plusieurs patients en même temps. Afin de faciliter cette dernière fonctionnalité, le protocole *JHTTP* est proposé. Ce nouveau protocole est inspiré du protocole *HTTP* sauf que les messages sont codés en *JSON*. De plus, le *HEMS* doit optimiser l'utilisation des ressources par l'agrégation des vidéos de plusieurs sources dans le même flux et la délivrance de l'audio/vidéo sur différents appareils.

I.3.3 Communication inter-appareils

La diversité des appareils domestiques impose l'utilisation d'un protocole unifié pour communiquer entre eux. Le protocole devrait être extensible, fiable, flexible, et avec une consommation minimale de ressources, etc. En se basant sur le fonctionnement de *UPnP*, le middleware *tinyUPnP* est proposé. Ce dernier assure toutes les fonctionnalités de *UPnP* (découverte et invocation de services, gestion des événements, etc.). De plus, les avantages de *UPnP* sont préservés, principalement la lisibilité de contenu des messages par les humains et l'extensibilité. Pour chaque fonctionnalité, un protocole similaire à celui de *UPnP* a été conçu. Ces protocoles sont *tinyHTTP*, *tinySOAP*, *tinySSDP* et *tinyGEN* contre les protocoles *SSDP*, *HTTP*, *SAOP* et *GENA* de *UPnP*. Dans les protocoles proposés, la taille des messages a été réduite. Ainsi, deux approches ont été adoptées : (i) la réduction des tailles de champs de contrôle dans les messages et (ii) la suppression des valeurs constantes. Les résultats de performance montrent que le gain en terme de réduction atteint jusqu'à 81.27% pour les messages d'événements, 85.23% pour les messages d'invocation, 86.85% pour les messages de réponses d'invocations, et 88.97% pour les messages d'erreurs.

I.3.4 Interaction homme-maison

L'interaction avec les habitants figure parmi les fonctionnalités à fournir par le système *HEMS*. Cette interaction doit être la plus naturelle possible ; elle doit aussi prendre en considération les profils des habitants et leurs capacités.

Notre contribution se résume en l'introduction du concept de l'« *identité relative à base de contexte* » dans le domaine de l'interaction habitant-*HEMS*. L'identité relative à base de contexte se fonde sur l'identification des objets et des sujets de l'interaction en fonction de leur positionnement dans le contexte actuel et la capacité de la communication de l'habitant avec le système. Par exemple, il est possible d'identifier les objets similaires que l'habitant ne peut pas distinguer par la couleur, la taille ou la position par rapport à d'autres objets. Similairement, il est possible d'identifier d'autres personnes relativement à l'habitant ; par exemple, au lieu d'indiquer le nom de la personne, on l'identifie en tant que le père, la mère, la sœur, le grand fils, la grand-mère, etc. La proposition du système d'interaction a pris en considération les points suivant : sensibilité au contexte, proche à l'interaction naturelle, déploiement facile, et la prise en considération les profile des habitants.

I.3.5 Sécurité et vie privée

La sécurisation des données des habitants et la préservation de leurs vies privées est un élément primordial pour le système *HEMS*, surtout qu'il permet l'accès à la maison de l'extérieur. En conséquence, ce système utilise le *HTTPS* pour sécuriser la communication avec le serveur Web et *WebSocket sécurisé* pour sécuriser les messages de signalisation du *WebRTC*. Aussi, il utilise l'option de cryptage de données des canaux du *WebRTC*, impose un système d'authentification des personnes qui veulent l'utiliser à distance, et implémente un mécanisme de traçabilité qui archive les accès ainsi que toutes les autres actions effectuées. Également, il est recommandé d'installer tous les serveurs publics (Web, signalisation, *STUN*, et *TURN*) dans un établissement sécurisé. Par la suite, un mécanisme de contrôle d'accès en utilisant des règles à base du contexte (facilement compréhensibles) est proposé. Enfin, d'autres critères sont pris en compte tels que la standardisation et la facilité du déploiement facile.

I.4 Organisation de la thèse

Le reste de ce manuscrit est organisé en six chapitres :

- Les deux premiers chapitres seront réservés à la description de l'état de l'art,
- Les trois suivants seront consacrés à la présentation des contributions,
- Finalement, le sixième chapitre sera dédié à la conclusion générale et les perspectives.

I.4.1 Chapitre 2 : Maison intelligente

Le chapitre 2 présente le concept de la maison intelligente et ses composants (appareils et passerelle domestique, technologies de communication, etc.). Le chapitre décrit aussi les objectifs de la maison intelligente (confort, sécurité, économie d'énergie, contrôle, santé, etc.).

I.4.2 Chapitre 3 : e-santé à domicile

Ce chapitre décrit le concept de l'e-santé à domicile, les appareils domestiques à usage médical, les services d'e-santé offerts aux habitants, ainsi que des travaux de recherche récents sur chaque service. Également, une section a été réservée à la description de l'environnement domestique pour l'e-santé ainsi que les exigences souhaitables pour un tel environnement.

I.4.3 Chapitre 4 : Environnement domotique pour la e-santé

Ce chapitre est consacré à la description globale de l'environnement d'e-santé à domicile concrétisé par le HEMS. Le chapitre présente les composants et l'architecture du système HEMS. Enfin, le chapitre détaille les propositions concernant la communication inter-appareils domestiques, la communication habitant-HEMS, et la sécurisation de l'environnement domotique.

I.4.4 Chapitre 5 : Gestion de situations d'urgence à domicile à base de FSM

Ce chapitre illustre l'implémentation d'un système de gestion automatique des services domestiques. À cet effet, le concept de FSM à base de théories des ensembles, son formalisme, ses propriétés, ses algorithmes de vérification, et sa relation avec l'algèbre de processus sont présentés.

I.4.5 Chapitre 6 : Contrôle et surveillance à distance

Le sixième chapitre est consacré à la description de la contribution concernant le contrôle à distance des services domestiques ainsi que sa mise en œuvre via la technologie WebRTC.

I.4.6 Chapitre 7 : Conclusion générale et perspectives

À la fin du manuscrit, une conclusion générale résumera le travail effectué et fixera des perspectives de recherche futures.

Chapitre II : Maison Intelligente

II.1 Introduction

Le début du 21^{ème} siècle a connu une accélération incroyable dans l'avancement et le développement des technologies de la communication et de l'information. Les éléments de calcul sont devenus de plus en plus petits et puissants, alors que les technologies de communication deviennent plus importantes en termes de quantité de données et portée d'émission. Les avancements de ces technologies, la réduction de ses prix, la présence des moyens d'acquisition de mesures sur l'environnement physique, et les avancements dans l'interaction homme-machine ont donné plus d'avantage au concept de maison intelligente.

L'importance de la maison intelligente réside dans le fait qu'elle offre une variété de services à ses habitants. Ces services couvrent la possibilité d'offrir le confort à l'habitant (contrôle de température, etc.), l'e-santé, et la sécurité. D'autres services demandent plus d'intelligence et de technologies et qui sont très souhaitables à domicile. On cite par exemple la gestion de la consommation d'énergie sans affecter la qualité de vie de l'habitant, la communication naturelle entre l'habitant et la maison intelligente, etc.

Afin de rendre une maison intelligente, il faut d'abord déployer des appareils intelligents et communicants, équiper ces appareils d'éléments de calcul afin d'exécuter des algorithmes et de technologies de communication pour communiquer entre eux. Au minimum, deux types d'appareils doivent exister dans une maison intelligente : (i) des capteurs pour percevoir l'environnement et (ii) des actionneurs pour agir sur l'environnement. D'autres types d'appareils peuvent être recommandés aussi comme ceux facilitant l'interaction entre les habitants et la maison (microphone, haut-parleur, écran, caméra, etc.).

Le contrôle et la coordination de fonctionnement d'appareils domestiques sont assurés par un équipement suffisamment puissant appelé *passerelle domestique*. La passerelle domestique est équipée de tous les moyens nécessaires pour communiquer avec les appareils intelligents de la maison, communiquer avec les habitants, et exécuter des logiciels complexes pour assurer la réactivité de la maison, de manière omniprésente, aux besoins des habitants. De plus, la passerelle domestique devrait assurer la connexion de l'intérieur de la maison aux réseaux extérieurs (Internet, etc.).

Plusieurs technologies de communication sont normalisées pour être déployées à domicile. Aussi, d'autres technologies sont en cours de développement. Certaines se basent sur des technologies déjà déployées à domicile telles que les lignes d'électricité et de la téléphonie. D'autres technologies nécessitent des interventions sur la structure de la maison par l'ajout de nouvelle installation telles que la fibre optique. Cependant, des technologies sans fil telles que IrDa, Wi-Fi, etc. sont très flexibles pour être déployées.

Malgré les efforts des différents organismes engagés pour la normalisation des technologies à déployer à domicile, la diversité de ces technologies ainsi que ces fournisseurs nécessitent la mise en œuvre de middlewares domestiques pour gérer l'interopérabilité entre ces technologies. Ces middlewares ont d'autres rôles tels que la découverte de services, la gestion de ces services à la demande des habitants ou automatiquement, etc.

Il est évident que la maison intelligente devrait être connectée à Internet pour offrir plus de services à ces habitants tels que la vidéo à la demande, la voix sur IP, le contrôle et la surveillance à distance, etc. Cinq technologies principales existent pour relier les maisons à Internet : les lignes téléphoniques, la fibre optique, les lignes de l'électricité, les réseaux cellulaires et les satellites.

L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu sur la maison intelligente ainsi que sur ses plus importants éléments. Pour chaque élément, quelques travaux de recherche récents seront présentés.

II.2 Maison intelligente

La maison intelligente est une résidence équipée d'un réseau de haute technologie, reliant les capteurs et les appareils domestiques afin de fournir des services qui répondent aux besoins de ses habitants. Le terme « maison intelligente » peut, en principe, désigner toute forme de résidence, par exemple, une maison, un appartement, ou une unité dans un lotissement social. Les capteurs peuvent être utilisés pour détecter l'emplacement des personnes et des objets, ou collecter des données (température, consommation d'énergie, fenêtres ouvertes, etc.) [5]. La maison est l'espace où les gens passent la majorité de leurs temps libre ; elle est aussi l'espace où on effectue les tâches les plus influentes sur notre vie. C'est à la maison qu'on mange, dort, rencontre la famille, etc. En contrepartie, c'est à la maison qu'on peut avoir des accidents ayant des conséquences graves sur notre vie soit à court ou à long termes.

Les gens dépendants sont les plus attachés à leur maison où ils peuvent profiter des services spécifiques à leurs besoins. Ces services sont fournis généralement par d'autres personnes comme les membres de la famille et les intervenants. L'idée de la maison intelligente est de la rendre plus réactive aux besoins de ses habitants dépendants. Krishna et Verma [6] ont proposé un framework d'une maison intelligente comprenant de multiples appareils hétérogènes qui communiquent via un réseau de collaboration. Un serveur s'occupe de l'interopérabilité entre les périphériques connectés. La simulation de ce framework prend en compte un serveur centralisé, sécurité domestique, téléphones intelligents, thermostat intelligent, climatisation centralisée, lumières connectées, fenêtres et contrôle de ventilation, smart TV, et réfrigérateur intelligent. Mennicken et al. [7] ont présenté une synthèse des travaux de recherche sur les maisons intelligentes. Ils ont donné des observations de l'industrie et de leurs expériences avec une discussion sur les défis actuels et émergents (espaces domestiques complexes, collaboration homme-maison, etc.) avec leurs visions pour les maisons intelligentes du futur. Wilson et al. [8] ont effectué une analyse systématique des maisons intelligentes et leurs utilisateurs, pour déterminer les thèmes de recherche dominants. Les neuf thèmes analysés (fonctionnel, instrumental, sociotechnique, utilisateurs potentiels, interactions et décisions, technologie à la maison, matériel et logiciel, conception, et domestication) ont été regroupés en trois classes : (i) la maison intelligente elle-même, (ii) les utilisateurs et l'utilisation de la maison intelligente, et (iii) les défis matériel et logiciel pour réaliser une maison intelligente.

II.3 Acteurs principaux de la maison intelligente

Plusieurs éléments peuvent jouer un rôle lors de la conception et la mise en œuvre d'une maison intelligente. Parmi ces éléments on cite ici :

II.3.1 Habitant

L'habitant est l'élément le plus important de la maison intelligente ; c'est lui le bénéficiaire principal de l'intelligence de la maison. Plusieurs questions devraient être posées concernant les habitants avant de penser à modifier l'environnement intérieur de la maison. Ces questions concernent l'attitude des habitants, la manière de contrôler la maison, les mesures à considérer, les préférences des habitants, les facteurs affectant les choix des habitants, etc. [9].

Les préférences de l'utilisateur proviennent des styles de vie actuels et futurs qui diffèrent selon les individus. Le genre, la nationalité, les types de logements contemporains, le niveau de télé-activités dans leur mode de vie actuel, les types d'activités et les habitudes de passer du temps ont eu

des effets significatifs sur les décisions de choisir une alternative spécifique pour la maison intelligente.

Schiffhauer et al. [10] ont démontré que l'acceptation des technologies intelligentes dans l'environnement domestique est élevée lorsque les préférences des utilisateurs sont prises en compte. Les utilisateurs préfèrent que la maison intelligente supporte leurs différents besoins comme la sécurité et l'économie d'énergie. Néanmoins, les utilisateurs veulent être en mesure de contrôler la maison intelligente eux-mêmes à tout moment. À cet effet, Cheng et al. [11] ont déterminé les préférences des futurs utilisateurs des services de la maison intelligente. Les auteurs ont pris comme exemple le purificateur d'air. Dans cette étude, dix facteurs ont été pris en compte (contrôle à distance via un téléphone mobile, identification vocale des opérations, utilisation de panneaux tactiles, purification intelligente de l'air, économie d'énergie, contrôle de l'air en temps réel, commodité mobile, conception modulaire, confort et sentiment d'affinité). Les consommateurs font partie de plusieurs groupes selon la psychologie et le comportement. Par exemple, le comportement de consommation d'un groupe d'âge moyen est conservateur et le groupe de jeunes est actif dans la réflexion et aime acheter de nouveaux produits et essayer une nouvelle vie. Lou et al. [12] ont proposé une nouvelle approche pour l'interaction gestuelle personnalisée qui prend en considération l'identification et les préférences des utilisateurs. L'approche proposée identifie les utilisateurs à l'aide de mots de passe gestuels pour associer un profil de préférence de gestes préenregistrés à l'utilisateur. Cette approche a pu offrir plus de précision par rapport aux approches conventionnelles. Enfin, Heidari et al. [13] ont estimé que la prise en compte de préférences des utilisateurs dans la conception de maisons intelligentes peut augmenter la satisfaction et l'acceptation des utilisateurs.

II.3.2 Appareils domestiques

Les appareils domestiques peuvent inclure n'importe quel dispositif à la maison intelligente, comme les machines à laver ou de l'éclairage, ayant une interface utilisateur fournissant l'accès et le contrôle des données et des services [5]. L'incorporation de nouveaux capteurs et algorithmes de contrôle dans les appareils domestiques offre de l'intelligence à ces appareils. Ces derniers deviennent moins chers avec la diminution des coûts des technologies à base de semi-conducteurs [14].

Dans ce contexte, Hamon et al. [15] ont présenté une application pour guider les utilisateurs dans l'installation, le déplacement et le remplacement des appareils utilisés par d'autres applications omniprésentes. Dans [16], Byungrak et al. ont développé un réfrigérateur intelligent permettant de récupérer les informations des articles stockés dedans en utilisant des détecteurs RFID. Le système RFID est déclenché à chaque ouverture de la porte grâce à l'utilisation de la technologie NFC. Aussi, Loh et Let [17] ont présenté un capteur pour mesurer le volume libre dans un réfrigérateur intelligent pour la surveillance automatique de l'utilisation du réfrigérateur. Jalilifard et al. [18] ont réalisé une étude visant à améliorer la qualité de l'interaction avec les téléviseurs intelligents selon l'état émotionnel de l'habitant. Dans cette étude, les auteurs ont utilisé l'ECG pour classer l'état émotionnel en « *avoir peur* », « *neutre* », et « *relaxé* ». L'information est ainsi transmise à une smart TV pour établir l'interaction. Hyun-Wook et al. [19] ont décrit un appareil qui détecte divers types d'entrées provenant de l'environnement physique (lumière, chaleur, mouvement, pression, etc.) et les transmet électroniquement sur le réseau informatique domestique en vue d'un traitement ultérieur.

II.3.3 Passerelle domestique

La passerelle domestique est l'élément le plus important de la maison intelligente. C'est le pont centralisé dont tous les appareils domestiques devraient être connectés. Elle assure deux fonctions principales : l'interconnexion du réseau domestique à l'Internet et le contrôle des appareils domestiques pour fournir des services aux habitants.

Kim et al. [20] ont proposé une passerelle domestique à base de l'IoT. Cette passerelle utilise des données abstraites (provenant d'appareils domestiques) dans le but d'éviter le problème d'hétérogénéité. La découverte de ces appareils se fait via DPWS ; de plus, cette passerelle auto-configure les appareils ayant de ressources limitées, et fournit des informations légères via le

protocole MQTT. Une autre passerelle a été réalisée par Tsai et al. [21] permettant à l'utilisateur de contrôler des appareils domestiques (télévision, climatiseur, réfrigérateur, etc.) via l'infrarouge en utilisant un appareil portable tel qu'un smartphone, une tablette ou une smart-watch. Dans [22], les auteurs ont conçu et implémenté une passerelle sans fil à base du microcontrôleur STM32 (matérielle et logicielle). En plus de la surveillance vidéo, ils ont pu utiliser cette passerelle pour analyser la scène surveillée. Chung et al. dans [23] ont considéré des options techniques et des exigences pour la conception de la passerelle SWoT. Ainsi, ils ont présenté une architecture de passerelle évolutive et flexible qui prend en charge les objets mobiles, l'interaction entre les utilisateurs et les objets, et le traitement multimédia. Mittek et al. [24] ont présenté la passerelle domestique *Angelos* qui est une passerelle WSN. La passerelle proposée fournit des d'entrées/sorties à haut débit et un environnement basé sur des sockets pour le développement rapide d'applications fonctionnant en réseau. Zhenhua et al. [25] ont conçu et implémenté un système de passerelle intelligente basé sur le protocole IPv6. Ainsi, les appareils intelligents peuvent être directement connectés à Internet.

II.4 Technologies de communication à domicile

Diverses technologies de communication peuvent être déployées à domicile pour permettre la communication M2M entre les appareils domestiques, d'une part, et entre les appareils domestique et la passerelle, d'autre part. Deux types de technologies existent :

- *Technologies filaires* : telles que les lignes d'électricité qui sont déjà déployées et la fibre optique qui offre un débit très élevé.
- *Technologies sans fil* : qui sont faciles à déployer ; elles peuvent être classées en technologies radio et technologies infrarouge.

II.4.1 Communication par PLC

PLC est une solution intéressante dans les réseaux domestiques. La ligne d'alimentation intérieure, reliant tous les appareils électroniques à la maison, est capable de diminuer les limites de portée du réseau sans fil et assure des communications à haute vitesse [26].

Dans ce contexte, Fu et al. [26] ont utilisé la méthode Monte Carlo pour étudier les impacts des structures du réseau de câbles électriques sur les capacités des canaux sans fil. Ainsi, les auteurs ont obtenu une approximation de la capacité de transmission par rapport à la distance. Shoaib et al. ont proposé dans [27] de propager le signal radio à haute fréquence sur les câbles de distribution du courant alternatif dans le but d'augmenter la portée de transmission des compteurs d'électricité intelligents. La solution proposée nécessite des modifications sur le matériel existant et la révision de la conception du compteur lui-même pour permettre au signal de mieux se propager à travers les murs. Galli et al. [28] ont étudié les interférences entre le PLC et le DSL. Les auteurs ont également présenté l'impact sur la performance de diverses technologies DSL. Le modèle statistique proposé permet d'évaluer l'impact de BB-PLC sur diverses technologies DSL en termes de débit de données. Muniz et al. [29] ont proposé de coupler la technologie PLC à la technologie WLAN afin de faire face aux problèmes de la transmission semi-duplex déployée par la technologie PLC (c'est-à-dire, éviter les retards des paquets TCP-ACK). La technologie PLC est utilisée pour envoyer des données TCP en raison de son débit élevé tandis que la technologie WLAN est utilisée pour envoyer TCP-ACK afin d'éviter les retards de ces paquets.

II.4.2 Fibre optique

La technologie FITB offre des fonctionnalités intéressantes pour la connectivité à haut débit dans les maisons. Elle présente donc un grand potentiel pour être considérée comme une solution évolutive [30].

Mittal, Shah, et John [31] ont considéré l'utilisation de la fibre optique dans les réseaux domestiques. À cet effet, ils ont conçu la couche physique en prenant en considération le coût, la puissance et la facilité de mise en œuvre. D'autres auteurs [32] ont proposé un réseau hybride fibre-

sans-fil à domicile. Via cette technique, la transmission de données atteint l'ordre de 61.3 Gbps. Popoola et al. ont évalué dans [33] la mise en œuvre d'un réseau domotique à base de POF hybride et de VLC. Les résultats montrent que l'hybridation POF/VLC permet d'étendre la bande passante disponible dans le réseau d'accès au réseau domestique.

II.4.3 Radio

Les technologies de communication radio permettent une grande flexibilité dans l'installation des réseaux domestiques. Ils ne nécessitent pas de modification sur la structure de la maison ; il suffit juste d'installer des points d'accès.

Dans [34], Batalla et al. ont proposé la virtualisation pour la séparation de la couche radio des couches supérieures afin d'augmenter l'évolutivité des systèmes domotiques pour faire face au nombre croissant de technologies de connexion d'appareils sans fil. Dans [35], les auteurs ont décrit un appareil utilisant la technologie Wi-Fi, basée sur la topologie en étoile, sans nécessiter de matériel supplémentaire. Leur objectif était de comparer les performances d'une solution à base de ZigBee avec d'autres basées sur le Wi-Fi. Langhammer et Kays [36] ont présenté un mécanisme de saut de fréquences pour l'évaluation, en termes de couverture, de la consommation d'énergie et de latence. Les auteurs ont présenté aussi une approche d'interconnexion des appareils domestiques intelligents de faible puissance basées sur la norme BLE. Sarijari et al. [37] ont considéré le scénario de coexistence des technologies sans fil (homogènes et hétérogènes) dans le cas de SGHAN pour faire face, principalement, aux défis des bandes de fréquence 2.4GHz (ZigBee, Bluetooth, WiFi, etc.) dans les réseaux domestiques. Ils ont conclu que l'existence des technologies homogènes et hétérogènes provoque une dégradation significative des performances due aux interférences.

II.4.4 Infrarouge

La technologie infrarouge de transmission est peu consommatrice d'énergie. Elle est largement utilisée dans les télécommandes des appareils domestiques tels que les TV et les climatiseurs. Elle est aussi utilisée pour concevoir des réseaux à domicile.

Dans [38], Yanjun a proposé un système de maison intelligente dont la communication entre les différents composants se base principalement sur la technologie infrarouge combinée avec la technologie ZigBee. Hua et al. [39] ont proposé un système intelligent de télécommande infrarouge pour contrôler les appareils domestiques via Internet. Adiono et al. [40] ont conçu une télécommande intelligente pour contrôler les appareils domestiques (climatiseurs, téléviseurs, etc.) en utilisant l'infrarouge qui, eux-mêmes, utilisent l'infrarouge pour s'interagir. D'autres auteurs [41] ont considéré la norme IEEE 802.11 pour les réseaux locaux optiques sans fil ainsi que la pile protocolaire IrDA. Enfin, Hsia et al. [42] ont utilisé cette technologie de communication pour définir un protocole entre les robots dans un système de sécurité à domicile.

II.5 Middleware

La diversité des fournisseurs d'éléments pour les maisons intelligentes cause une diversité de technologies. Une interopérabilité se présente alors au niveau matériel et logiciel, appareils domestiques, technologies de communications, etc. Pour remédier à ce problème, plusieurs middlewares ont été développés.

Hyun-Wook et al. [19] ont proposé un middleware en trois couches sensible au contexte¹. Ce middleware a un triple objectif : abstraction des capteurs, traitement de l'information sur le contexte et facilitation du développement d'un service contextuel. Un autre travail réalisé par Hoque et al. [44] concerne le développement d'un middleware contextuel qui fournit les tâches et prend en charge le partage de contexte domestique de manière coopérative. Ce contexte est modélisé en utilisant les ontologies. Son et al. [45] ont présenté un middleware distribué qui permet aux appareils d'apprendre

¹ Le contexte est l'ensemble des informations environnementales (température, pression, orientation de l'appareil, etc.) qui déterminent le comportement d'une application au profit de l'utilisateur [43].

le comportement des habitants pour s'adapter à leurs actions. Aussi, il permet à ces appareils de coopérer via une passerelle domestique. Wang, Tao et Xu [46] ont implémenté le middleware SHSM pour prendre en charge l'intégration et l'appel de service domotique. Le SHSM est une structure hiérarchique qui permet le déclenchement d'applications piloté par des règles dans le but d'automatiser le flux de travail. Zhenhua [25] a conçu un réseau domestique à base du protocole IPv6. Il a aussi implémenté une passerelle intelligente qui permet aux appareils domestiques de se connecter directement à Internet et facilite ainsi aux utilisateurs l'accès au réseau domestique de différents endroits. Enfin, Toschi et al. [47] ont étendu *UPnP* pour concevoir une architecture modulaire à deux couches. La couche supérieure est utilisée pour contrôler et intégrer les services domotiques, alors que la couche inférieure permet de communiquer avec les appareils en utilisant la technologie de communication appropriée.

II.6 Technologies de connexion à Internet

Les habitants s'intéressent de plus en plus à connecter leurs maisons à Internet grâce aux services qu'il offre (VoIP, VoD, Ehealth, Egov, etc.) via plusieurs technologies. Cependant, le choix de la technologie la plus adéquate dépend généralement de la situation de la maison. Parmi les technologies les plus utilisées, on retrouve celles qui sont basées sur les lignes téléphoniques, la fibre optique, les lignes d'alimentation électrique, les réseaux cellulaires et les satellites.

II.6.1 Lignes téléphoniques

La technologie DSL transmet des données sur les lignes téléphoniques existantes. L'utilisation de ces lignes pour se connecter à Internet offre plusieurs avantages tels que le partage des installations avec les services vocaux et fax (avantages techniques) et une bande passante importante (avantage économique) [48]. Il existe plusieurs variantes de cette technologie telles que ADSL et DSLAM [49].

II.6.2 Fibre optique

La technologie à base de fibre optique permet de fournir des services Internet sur la fibre optique et acheminer un signal de communication depuis l'équipement de l'opérateur jusqu'à la maison. Cette technologie a été jugée plus robuste et fiable que les technologies plus anciennes comme le DSL. La connexion des foyers au réseau de la fibre optique (fibre jusqu'au-domicile) est une technique en pleine croissance qui permet d'offrir une bande passante et une vitesse beaucoup plus importante [50].

II.6.3 Ligne d'alimentation électrique

Il s'agit de l'utilisation de la technologie PLC, appelée aussi PDSL [51], pour fournir l'accès à Internet à large bande via des lignes électriques ordinaires. L'accès Internet à haut débit est disponible en branchant simplement un modem BPL à n'importe quelle prise de courant dans la maison. En plus de permettre aux gens de différents endroits d'avoir accès à Internet, il est peut-être plus facile de fournir des services de divertissement numérique en utilisant la télévision, la surveillance et le contrôle à distance, l'e-santé, etc. [52].

II.6.4 Internet mobile

L'Internet mobile est devenu une partie intégrante de notre vie. Cependant, avec la 4G et le succès des appareils informatiques mobiles, l'industrie vise à apporter la même fiabilité d'accès aux services de l'Internet mobiles telles que le streaming audio et vidéo dont la technologie LTE (fournissant déjà des débits de données efficaces d'environ 50Mb/s). Cependant, l'expérience de la connectivité ne permet pas parfois d'obtenir la connectivité requise pour les applications les plus simples, même la navigation avec les réseaux 3G et 4G. Par conséquent, une nouvelle norme (5G) au-delà de LTE est nécessaire [53].

II.6.5 Internet par satellite

Aujourd'hui, les services Internet par satellite sont utilisés dans de nombreux pays développés. L'utilisation des satellites pour fournir l'accès à Internet à domicile à haut débit et à de nombreux autres services aux utilisateurs habitant loin des agglomérations, améliore la qualité de vie comme les services de santé, l'éducation, etc. Le fait que les habitants des zones rurales ne peuvent pas se déplacer vers les villes en raison de l'éloignement de leurs habitations, les services Internet par satellite leur permettent de gérer leurs affaires [54].

II.7 Services domestiques

La maison intelligente fournit divers services aux habitants (par exemple, prédire les besoins de l'habitant) qui sont facilités par le réseau et les composants technologiques qui y sont disponibles. Les services peuvent être catégorisés en fonction des besoins des utilisateurs ciblés ; par exemple, la sécurité, la santé, le divertissement, la communication, la commodité et le confort, et l'efficacité énergétique [5]. Les travaux de recherche récents relatifs à cet aspect sont examinés dans ce qui suit :

II.7.1 Contrôle à distance des appareils domestiques

Les systèmes de contrôle à distance permettent aux utilisateurs de commander les appareils et les services à distance.

Sala et al. [55] ont présenté le développement d'un commutateur intelligent pour contrôler les appareils électriques via le Web. Ce commutateur est connecté via le WiFi à un ordinateur, un smartphone, une tablette ou tout autre appareil connecté à Internet. Adiono et al. [56] ont présenté la plateforme Internet-of-Things MINDS conçue pour les applications domestiques intelligentes. MINDS utilise le concept de réseau de capteurs sans fil pour connecter et coordonner tous les appareils domestiques. MINDS peut être contrôlée et surveillée par l'utilisateur via un smartphone. Lee et al. [57] ont proposé un système de télécommande universelle intelligente, *Point-n-Press*, pour le contrôle d'appareils domestiques. *Point-n-Press* permet un contrôle facile et intuitif en pointant sur l'appareil cible pour afficher l'interface de contrôle sur l'écran de la télécommande. Manssor et al. [58] ont illustré la conception et la mise en œuvre d'une solution permettant le contrôle d'appareils domestiques via un microphone sans fil. Pour utiliser le système, la personne donne une commande vocale à l'ordinateur via le microphone ; l'ordinateur convertit cette commande et l'envoie aux appareils domestiques spécifiés. Enfin, Lin et al. [59] ont proposé la télécommande *IoTalk-RC* ayant une GUI Web pour le contrôle à distance d'appareils domestiques.

II.7.2 Confort

Ellsworth-Krebs et ses collègues [60] définissent le confort comme l'état de détente et de bien-être qui résulte de l'accompagnement et du contrôle permettant de gérer convenablement la maison.

Mohsenzadeh et al. [61] ont présenté une méthode de programmation d'appareils domestiques permettant d'augmenter le confort des habitants avec un coût optimal. Les auteurs ont modélisé le confort et le coût en utilisant une technique floue. Vanus et al. [62] ont donné une description des principes et méthodes pour l'amélioration du confort. L'évaluation proposée est basée sur des paramètres objectifs (liés à l'environnement) et des paramètres subjectifs (liés aux besoins des habitants). Bonhomme et al. [63] ont utilisé le formalisme *HiLes* et le standard EIA-632 pour concevoir un système de gestion du confort domestique. Ils ont présenté les différentes phases de conception ainsi que les résultats de la vérification formelle du comportement du système. Les auteurs dans [64] ont établi un modèle d'ordonnancement optimal des opérations des appareils domestiques. Ceci a été réalisé pour garantir un niveau optimal de confort des habitants en minimisant la consommation d'énergie. Rawi et Al-Anbuky [65] ont présenté un système d'intelligence ambiant basé sur les réseaux de capteurs sans fil. Ce système utilise des règles floues pour mesurer l'indice de confort humain (somme des erreurs carrées entre les valeurs de chaque paramètre et celles souhaitées). Les paramètres de confort considérés incluent le confort thermique, le confort visuel, le confort de

l'air intérieur, et le confort acoustique. Nishiyama et al. [66] ont décrit un modèle de décision pour un agent autonome qui contrôle les appareils domestiques dans le but d'augmenter le confort aux habitants. Enfin, Xu et al. [67] ont présenté une méthode de modélisation et une simulation numérique de l'échange de chaleur et d'humidité entre le corps humain et l'environnement. À cet effet, les auteurs ont simulé la répartition dynamique de la température 3D et celle de l'humidité sur la surface de la peau.

II.7.3 e-santé

Selon l'OMS, la santé ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. Elle est définie comme un état complet de bien-être physique, mental et social. L'e-santé, quant à elle, est l'utilisation des TIC pour la santé [1]. Ainsi, plusieurs travaux de recherche ayant l'objectif de renforcer l'e-santé à domicile [68].

Liu et al. [69] ont conduit un état de l'art pour déterminer (i) les niveaux de maturité technologique chez les personnes âgées, ainsi que (ii) des preuves que les technologies de surveillance de la santé apportent de l'aide des personnes âgées ayant des besoins complexes. Le résultat de ce travail indique que ces niveaux sont encore faibles. Silva et al. [70] ont proposé une plateforme logicielle basée sur la passerelle domestique pour l'interconnexion de tous les appareils médicaux avec l'iDTV. La solution proposée est validée par un test sur deux scénarios, un pour mesurer la fréquence cardiaque et l'autre pour la pression artérielle. Sun et al. [71] ont décrit la conception et la caractérisation d'un biocapteur électrochimique reconfigurable. Ce capteur est conçu pour permettre la surveillance de la santé à distance. Le prototype proposé permet le monitoring de la glycémie, la lactoferrine, le pH et l'EIS.

II.7.4 Sûreté et sécurité

La sécurité des maisons devrait être une préoccupation majeure pour leurs propriétaires principalement pour les raisons suivantes : (i) la maison est souvent laissée sans surveillance pendant la journée, (ii) les personnes âgées ou les enfants s'y trouvent seuls [72], (iii) enfin, le système de sécurité résidentiel est fortement souhaitable pour la sûreté et la commodité des résidents.

Hussein et Al Mansoori [73] ont proposé un système de verrouillage de porte basé sur le *Raspberry*, caméras, et claviers pour fournir un système d'alarme capable d'avertir le propriétaire et reconnaître les invités devant la porte. Jose et al. [74] ont proposé un processus de vérification à deux phases en utilisant un appareil d'empreintes digitales et des informations d'identification. Ce processus permet de vérifier les appareils utilisateur ainsi que l'utilisateur accédant à la maison via Internet même s'il change d'emplacement géographique, de navigateur Web, ou d'appareils. Aussi, ces auteurs ont étudié dans [75] divers problèmes de sécurité dans les systèmes domotiques et proposé l'utilisation d'algorithmes de sécurité pour améliorer la sécurité à domicile. Ils ont utilisé une plateforme à base de *Raspberry* et capteurs (proximité, mouvement, etc.) pour identifier le comportement de l'utilisateur à différents points d'accès. L'algorithme de détection mis en œuvre peut détecter tous les changements d'état des points d'accès primaires et secondaires, vérifier l'identité de l'utilisateur, et générer des avertissements et des alarmes. Dans [76], les auteurs ont évalué les problèmes de sécurité liés à la plateforme *SmartThings* [77] de *Samsung* (système domotique qui se compose des applications *SmartApps*). Ils ont montré qu'il est possible d'avoir un accès total aux appareils domestiques même si les droits d'accès sont limités. Il est possible aussi de voler les codes *PIN* et même de lancer des alarmes de feux sans avoir besoin ni de l'accès physique à la maison ni d'utiliser une *SmartApps* adéquate. Zhang and al. [78] ont proposé un système d'analyse des vidéos pour la sécurité domestique. Le système permet de détecter les situations anormales (par exemple, les chutes) et de notifier les habitants par SMS. Mahler et al. [79] ont utilisé les smartphones de récupération pour implémenter un système d'analyse de comportements des portes et fenêtres en utilisant les vibrations causées (vitesses d'ouverture lente, normale et rapide.). Le système développé notifie les propriétaires via SMS, email ou appel téléphonique.

II.7.5 Préservation de la vie privée

La maison intelligente manipule des données sensibles (photos personnelles, vidéos, journaux numériques, etc.) ainsi que des appareils connectés à Internet (caméras, microphones, etc.). La protection de ces données importantes exige des mécanismes de sécurité stricte [80]. La sécurité de données est assurée par les éléments suivants : (i) confidentialité, (ii) intégrité, (iii) authentification, (iv) contrôle d'accès et, enfin (v) disponibilité [81]. Cependant, seuls les trois éléments (i), (iii) et (iv) qui ont suscité le plus d'intérêt.

Afin de garantir la confidentialité, Alami et ses collègues [82] ont comparé les techniques de préservation de la vie privée utilisées dans les réseaux de capteurs sans fil à domicile. Ainsi, les auteurs ont étudié plusieurs techniques de préservation de la confidentialité du contexte (mécanismes d'inondation, mécanisme de sources de données erronées, transmission périodique) et de la confidentialité de données (agrégation des données privées basée sur les clusters, tranches, agrégation des données préservant la confidentialité basée sur la rotation). Bugeja et al. [80] ont analysé des approches de sécurité et de protection de la vie privée : (i) de niveau d'appareils telles que le chiffrement matériel, la conception des appareils à sécurité intégrée et mécanismes de contrôle d'accès, (ii) de niveau de communication telles que l'utilisation de VPN. Liu et al. [83] ont proposé une solution utilisant la cryptographie à clé publique pour résoudre les problèmes de confidentialité et vérification de l'identité du contrôleur de la maison. Les auteurs ont utilisé une autorité d'auto-certification pour fournir un certificat numérique à chaque utilisateur et aux contrôleurs pour l'authentification mutuelle. Song et al. [84] ont proposé un protocole de communication sécurisé par un schéma de chiffrement symétrique avec des clés secrètes générées par des systèmes chaotiques pour la transmission de données. Psychoula et al. [85] ont proposé un framework pour la gestion de la modélisation de confidentialité. Les auteurs ont analysé les caractéristiques de confidentialité (type de données (personnel, médical, basé sur un capteur), emplacement (chambre ou pièce), heure, et activité) qui affectent la vie privée des utilisateurs. Konidala et ses collègues [86] ont proposé l'utilisation de *HTTPS* afin de garantir la confidentialité et l'intégrité.

Pour l'authentification, les techniques basées sur les mots de passe sont aussi utilisées [87]. Lu et al. [88] ont proposé un schéma d'authentification par mots de passe basé sur les théories du chaos [89] et des cartes à puce. Dans le but de faire face à certains problèmes liés à la violation de la sécurité des clés de session, à la vulnérabilité, à l'attaque par usurpation de l'utilisateur et au manque de vérification locale, les auteurs ont appliqué la technique biométrique et les fonctions de hachage. Mohammedi et al. [90] ont proposé un schéma léger pour l'authentification. Les tests ont montré que leur schéma présente plusieurs avantages en termes de coûts de stockage, de calcul, de communication, de rapidité et de facilité d'implémentation. Zhang et al. [91] ont proposé un autre mécanisme d'authentification biométrique permettant à un utilisateur de s'authentifier et d'échanger la clé de la session avec le serveur en préservant son anonymat.

Concernant le contrôle d'accès, l'étude bibliographique réalisée a révélé qu'il peut être assuré par trois méthodes différentes à base de règles : (i) *RBAC* [92], (ii) *PRBAC* [93] et (iii) *CRBAC* [94]. En effet, les contraintes d'accès devraient être simplifiées et définies de façon compréhensible, en particulier pour les utilisateurs novices n'ayant pas de concepts de base en informatique. La méthode *RBAC* a été adoptée par Ahn et al. [92] pour contrôler l'accès à l'environnement domestique. Un prototype a été développé pour montrer la faisabilité de l'approche en utilisant l'implémentation *Knopflerfish* [95] du framework *OSGi*. La deuxième méthode, *PRBAC*, a été utilisée par Li et al. [93] dans l'approche *POET* proposée pour protéger l'accès aux données. Cette approche a été testée pour protéger l'accès aux données provenant des capteurs médicaux du BAN pour des fins de monitoring et de diagnostic des patients à domicile. La dernière méthode, *CRBAC*, est utilisée par Periyasamy et al. [94] pour protéger l'accès aux dossiers médicaux électroniques et réseaux de capteurs à l'intérieur des domiciles des personnes âgées.

II.7.6 Énergie

L'un des problèmes majeurs de la maison intelligente est la gestion optimale de l'énergie tout en considérant un équilibre entre l'économie d'énergie, le style de vie confortable et la minimisation de la facture d'électricité [96] [97].

Dans ce cadre, Gupta et al. [98] ont décrit un système SHEMS de gestion de l'énergie à la maison intelligente qui recueille les informations sur les appareils, surveille et contrôle leur performance pour une consommation plus efficace d'énergie. À cet effet, un serveur domestique connecté au réseau PPCOM a été proposé. Ce serveur est alimenté par les paramètres requis de tous les appareils, ce qui lui permet de prendre des décisions sur leurs performances. Han et Lim [99] ont proposé un système de gestion de l'énergie des maisons intelligentes basé sur les réseaux de capteurs (appareils domestiques) à base de ZigBee pour la détection de l'environnement et le contrôle des appareils. Zhang et al. [100] ont développé un système de gestion de l'énergie domestique à base de l'apprentissage automatique. Ce système est conçu pour apprendre le modèle de consommation d'énergie par le chauffage domestique, la ventilation et la climatisation afin de répondre aux besoins réels des habitants. Hansen et al. [101] ont présenté trois techniques pour minimiser la facture de l'électricité en se basant sur un processus de décision de Markov. Zhai et al. [102] ont proposé une solution permettant la surveillance de charge intrusive en prenant en compte l'incertitude de mesure ainsi que le comportement de l'utilisateur. Le calcul des charges intrusives est réalisé en utilisant des données collectées (de consommation d'électricité par les appareils) à partir des prises électriques intelligentes. Guang et al. [103] ont construit un prototype d'une maison intelligente en utilisant deux cartes Arduino et divers capteurs (capteur de luminosité, température, humidité et mouvement). Ces capteurs permettent à plusieurs appareils connectés dans le prototype développé d'agir en fonction des entrées externes de l'environnement afin de réduire la consommation totale d'énergie. Enfin, Chen et al. [104] ont proposé un système de gestion de l'énergie des maisons intelligentes centré sur l'habitant qui sert de majordome. Ce système permet l'ordonnancement du système d'énergie domestique en répondant aux demandes des utilisateurs et en réduisant les tarifs d'électricité.

II.7.7 Interaction entre l'utilisateur et les appareils domestiques

L'interaction entre l'utilisateur et les appareils domestiques est une préoccupation essentielle à considérer. La tâche clé est d'améliorer l'expérience de l'utilisateur et de simplifier sa manipulation. Les appareils domestiques sont passés de simples télécommandes à des objets connectés avec les appareils mobiles tels que les smartphones ou les tablettes [105].

Gonzalo et Juan [105] ont décrit un modèle architectural d'un système qui s'adresse au contrôle des systèmes domotiques ainsi que ses appareils. Un brassard pour la capture gestuelle, *MYO®*, est utilisé pour la mesure de l'activité électrique produite par le mouvement des muscles de l'avant-bras et de la main afin de détecter les gestes de la main. Il est également capable de capturer l'orientation et la rotation du mouvement. Khalid et al. [106] ont utilisé le contrôle vocal pour la commande et l'automatisation des appareils domestique. La solution proposée fonctionne conjointement avec *LabVIEW* et *Windows Speech recognition*. Katz et al. [107] ont proposé d'utiliser des signaux physiologiques et des mouvements (EMG, accéléromètre et gyroscope) pour contrôler les appareils domestiques. La solution proposée exploite le signal EMG pour détecter la contraction de muscles de l'utilisateur et déclencher les actions associées sur l'appareil contrôlé. Rubio-Drosdov et al. [108] ont implémenté un environnement domestique permettant aux utilisateurs de contrôler les appareils en utilisant le langage naturel. La solution proposée permet de réduire le besoin d'apprendre ou de mémoriser des mots ou des termes spécifiques destinés à déclencher des actions sur les appareils domestiques. Katore et Bachute [109] ont développé un système permettant l'interaction entre les habitants et les appareils domestiques en utilisant la parole. L'habitant envoie une commande vocale via un appareil compatible Android ; ensuite, cet appareil redirige la commande à l'unité de commande via le Bluetooth. Finalement, l'unité exécute la commande sur l'appareil. Enfin, d'autres auteurs [110] ont présenté le système *Smart-home-middle-wear* qui permet la perception des émotions des habitants (*Heureux, Peur, Joie, etc.*) en utilisant des bio-signaux.

II.8 Conclusion

Ce chapitre a détaillé le concept de la maison intelligente et présenté les principaux travaux de recherche récents. Vu que l'habitant est son élément principal car il est le bénéficiaire de ses services (confort, sécurité, contrôle, santé, etc.), il faut prendre ses préférences et exigences en compte. De ce fait, il faut installer des appareils capables d'exécuter des logiciels et, de communiquer entre eux, avec les habitants et avec l'extérieur de la maison. Afin d'être capables d'offrir ses services de manière omniprésente, il est indispensable de (i) installer un réseau informatique pour communiquer, (ii) installer une passerelle domestique pour exécuter les algorithmes complexes, (iii) mettre en œuvre des middlewares pour gérer l'interopérabilité des technologies et des services domestiques, et (iv) il est préférable de connecter ces appareils à Internet. Heureusement, plusieurs solutions existent permettant de se connecter à Internet selon la situation de la maison.

Avant de détailler la conception de l'environnement à domicile pour l'e-santé proposé dans le cadre de cette thèse, le chapitre suivant est consacré à la présentation du concept d'e-santé à domicile.

Chapitre III : e-Santé à Domicile

III.1 Introduction

L'e-santé à domicile est l'utilisation des TIC pour améliorer la santé des personnes vivant à domicile [2]. Elle incube plusieurs services ; les plus importants sont donnés comme suit [111] :

- Détection et prévention des urgences telles que la détection des chutes, de l'hypo/hyperglycémie, etc.,
- Assistance des habitants comme le rappel des médicaments, aide dans leurs activités quotidiennes, etc.,
- Fourniture aux soignants des moyens d'assistance à distance aux habitants,
- Diagnostic à distance et suivi d'exercices de rééducation des centres médicaux,
- Surveillance à distance des signes vitaux tels que le rythme cardiaque, la glycémie, etc.

Pour permettre l'implémentation des services e-santé à domicile, il est primordial de rendre la maison intelligente (ou au moins, la maison doit fournir les services d'informations et de communication nécessaires). Pour ce faire, la maison doit être équipée de :

- *Capteurs* : pour acquérir des données sur ce qui se passe à l'intérieur de la maison.
- *Actionneurs* : pour agir sur l'environnement domestique afin d'aider les habitants (climatiseur, robot, etc.).
- *Technologies de communication* : pour permettre aux capteurs et aux actionneurs de communiquer les uns avec les autres et avec l'extérieur, et enfin
- *Passerelle domestique* : elle doit être mise en place pour contrôler l'environnement domestique. La maison peut également exécuter des algorithmes intelligents pour analyser les données acquises à partir de capteurs, prendre des décisions, estimer les besoins des habitants, etc.

III.2 Appareils domestiques

La FDA des États-Unis réglemente les appareils médicaux destinés à être utilisés pour le diagnostic, la guérison, l'atténuation, le traitement ou la prévention de maladies [112]. Ce travail ne s'intéresse qu'aux appareils médicaux utilisables à domicile.

Dans [113], les auteurs ont proposé un système pour le monitoring de l'utilisation des appareils médicaux. L'objectif de ce système est d'assister les utilisateurs en les notifiant en cas de détection d'erreurs d'utilisation.

Dans [114], Bitterman a discuté la conception d'appareils médicaux de deux côtés, à savoir, le côté appareils et le côté utilisateurs. L'auteur propose de prendre en considération :

- *Les utilisateurs* car ils constituent un groupe hétérogène principalement non professionnel (soit les patients eux-mêmes, soit les membres de la famille).
- *L'environnement de fonctionnement de l'appareil* qui est imprévisible, incontrôlable, et inconnu par les fabricants (par exemple l'environnement n'est pas stérile, l'éclairage est inapproprié, présence de bruit, et de poussière, etc.).
- *Les appareils de monitoring et de diagnostic* disponibles au niveau des pharmacies et qui peuvent généralement être achetés en vente libre (thermomètres, balances, etc.). La

convivialité de conception est un critère important pour une télésurveillance réussie à domicile.

- *Les appareils de prévention, de traitement et de soulagement des maladies* (masques d'apnée du sommeil, générateurs d'oxygène, pompes d'administration de médicaments, etc.) sont des systèmes relativement compliqués qui peuvent présenter différents niveaux de risque pour les patients.

Dans [115], les auteurs ont réalisé une étude d'évaluation qualitative d'obstacles et de facilitateurs de l'utilisation appropriée et inappropriée d'appareils médicaux par les personnes âgées. Dans ce travail, cinq recommandations ont été identifiées :

- Les personnes âgées doivent avoir le bon appareil au bon moment ;
- Les personnes âgées doivent recevoir une formation et une assistance continue pour utiliser les appareils y compris pour le dépannage ;
- L'appareil doit correspondre à la taille et aux capacités physiques de la personne ;
- Les appareils doivent fonctionner correctement ;
- L'appareil doit s'adapter physiquement à l'environnement domestique ;

III.3 Infrastructure domestique pour l'e-santé

En s'inspirant de la définition donnée par Mynatt et al. dans [116], une infrastructure intelligente de santé désigne une collection de capteurs, d'actionneurs, de TICs et de calcul qui peuvent fournir des services de santé aux habitants. D'après l'étude effectuée dans le cadre de ce travail, trois types d'infrastructures intelligentes de santé peuvent au moins être distingués : (i) maisons intelligentes, (ii) réseaux corporels (BAN), et (iii) robots domestiques.

III.3.1 Maisons intelligentes

Le concept de la maison intelligente a fait l'objet du chapitre précédent et représente l'objet principal de ce chapitre. Par conséquent, cette section ne décrira que les réseaux corporels et les robots domestiques.

III.3.2 Body Area Network (BAN)

Les BANs sont utilisés pour la surveillance des activités physiologiques des patients à domicile. Ces réseaux permettent un accès rapide et fiable aux données des patients et aident principalement à avoir un soin de santé immédiat en cas d'urgence. Les BANs sont composés d'appareils médicaux intelligents (capteurs ou actionneurs) incorporés sur, autour ou dans le corps humain [117].

Boulemtafes et ses collègues [118] ont proposé une plateforme de surveillance de la santé (WHMS). Le principal défi considéré est le fait que le système ne doit ni affecter la mobilité des patients ni avoir un impact significatif sur leurs vies quotidiennes. Takayama [119] a développé un TBAN constitué d'un réseau de capteurs et d'un hôte. Via l'hôte, les membres de la famille peuvent surveiller l'état de santé du patient à travers une AUI. Hassan et al. [120] ont présenté un modèle d'allocation de ressources à base d'agents et d'ontologies pour les appareils et capteurs d'un BAN. Le but étant d'assurer la qualité de service pour les applications de soins à domicile. Elghers et al. [121] ont présenté une approche pour réduire la quantité de données envoyées sur le BAN et la consommation d'énergie. Cette approche permet uniquement d'envoyer des mesures de signes vitaux critiques. En outre, l'approche permet de détecter rapidement les situations d'urgence et d'adapter la quantité de données transmises de manière dynamique. Benmansour et al. [122] ont simulé un système de surveillance individuelle des patients cardiaques pour comparer les performances de deux normes sans fil, 802.15.4 et 802.15.6, en termes d'exigences et de contraintes réelles. Yamasue et al. [123] ont étudié les avantages et les inconvénients de l'utilisation de la technologie sans fil UWB pour la communication entre les éléments du BAN à usage de soins à domicile. L'étude s'est focalisée

sur la robustesse, les interférences et la consommation d'énergie. Enfin, les auteurs dans [124] ont proposé un algorithme pour contrôler et adapter la charge dans un WBAN à base de *ZigBee* et *WiFi*. L'objectif principal étant de minimiser les délais en cas d'urgence.

III.3.3 Robots à domicile

Certains chercheurs ont proposé d'utiliser les robots de service de santé à domicile. De tels robots permettent de promouvoir la santé, d'assister les habitants à domicile dans des tâches difficiles à effectuer en raison de problèmes de santé ou d'empêcher un nouvel incident de santé [125]. Simshaw et al. [126] ont discuté l'importance de la réglementation (par le FDA) de l'utilisation des robots à domicile pour des fins de santé. En effet, les robots opèrent dans des environnements qui ne sont pas bien structurés ; de plus, ils sont utilisés par des personnes non spécialistes tout en partageant leur espace de vie. Par conséquent, les auteurs ont conclu que l'application des recommandations sur les appareils médicaux n'est pas suffisante. Dans [127], les auteurs ont étudié l'acceptation de robots domestiques capables d'offrir plusieurs services (navigation, mesure de signes vitaux et manipulation de petits objets) et applications (rappel, agenda et vidéo-conférence). Les résultats ont montré que toutes les fonctionnalités sont acceptées par les personnes âgées et les intervenants avec quelques préférences : vidéo-conférence pour les personnes âgées et, mesure des signes vitaux et rappels pour les intervenants. Alaiad et Zhou [128] ont étudié l'utilisation de robots pour fournir des soins à domicile. Cette étude a couvert huit dimensions : performance, effort, influence sociale, conditions favorables, confiance, préservation de la vie privée, éthiques et coté juridique. L'étude a montré que les facteurs sociotechniques ont l'impact le plus important sur l'adoption des robots à domicile. Ahn et al. [129] ont analysé l'utilisation des services de divertissement par des robots de santé. Trois types de services (vidéos, citations et images) ont été proposés aux personnes âgées dans des espaces publics et privés. Les auteurs ont conclu que les vidéos sont les plus utilisés par ces personnes dans leurs espaces privés. Ouiguini et Belloulou [130] ont présenté un fauteuil roulant autonome pour les personnes handicapées capable de se déplacer à l'intérieur d'une maison. Pour préserver la sécurité des utilisateurs, cette chaise est capable de percevoir son environnement (en utilisant une caméra) et de se déplacer sans collision vers une destination spécifique. Également, le handicapé peut contrôler la chaise via son clavier et sa voix. Abdallah et al. [131] ont proposé un robot, contrôlé à distance via une application Web, pour la rééducation du poignet à la maison. Dans le but de tester la faisabilité de ce système, un prototype a été développé. Malheureusement, le système n'a pas été testé ni sur de vrais patients ni en situation réelle de contrôle à distance.

III.4 Services de santé à domicile

La maison intelligente offre plusieurs services de santé aux habitants principalement aux patients et personnes dépendantes. Ces services couvrent une large gamme de besoins des utilisateurs. La suite de cette section liste les services qui ont suscité l'intérêt de la communauté de chercheurs et industriels.

III.4.1 Détection de chutes

L'accident de chutes présente un risque majeur sur la santé des habitants (surtout pour les personnes âgées), principalement pour ceux qui se trouvent seuls et sans surveillance directe. De ce fait, la présence de systèmes de détection de chutes est indispensable, car il permet de notifier les assistants afin d'intervenir rapidement.

Wang et al. [132] ont proposé un prototype d'un système qui utilise les informations recueillies d'un accéléromètre, d'un cardio-tachymètre et d'autres capteurs (température et humidité), pour détecter les chutes. Stone et Skubic [133] ont proposé un système de détection de chute à l'aide de caméra Kinect en se basant sur un ensemble d'arbres de décision. Cheffena [134] a proposé un système basé sur les caractéristiques audio de smartphones pour automatiser la détection des chutes.

Enfin, Amin et al. [135] ont proposé des algorithmes et techniques de traitement du signal radar pour la détection de chutes.

III.4.2 Reconnaissance d'activités

Plusieurs systèmes intelligents de reconnaissance d'activités des êtres humains ont été proposés pour permettre la détection de situations anormales et/ou imprévues. Ceci permet de fournir de l'aide nécessaire en cas de besoins urgents [136]. Cette sous-section résume des techniques de reconnaissance d'activités proposées dans des travaux de recherche récents.

Yao et al. [137] ont développé un système de reconnaissance d'activités de personnes par l'analyse des fluctuations du signal RFID et d'algorithmes d'apprentissage automatique. Cook et al. [138] ont habillé les habitants par des capteurs intelligents afin de recueillir des données. À l'aide de techniques d'apprentissage automatique, ces données sont analysées pour différencier entre les personnes en bonne santé et celles atteintes de la maladie de Parkinson. Li et al. [139] ont présenté le système R&P de reconnaissance d'activités sans appareils qui utilise uniquement des étiquettes RFID. Yassine et ses collègues [140] ont proposé un modèle d'utilisation de données volumineuses pour l'apprentissage et la découverte de modèles d'activités. Gavrilova et al. [141] ont présenté l'utilisation de caméras Kinect pour la reconnaissance de comportements humains, de gestes et d'activités. Les auteurs dans [142] ont étudié la variabilité inter-sujets et interactivités pour fournir de nouvelles définitions afin de quantifier une telle variabilité. Hbali et al. [143] ont proposé une nouvelle approche basée sur le squelette pour décrire les aspects spatio-temporels d'une séquence d'activités humaines, en utilisant une caméra Kinect couplée aux distances de Minkowski (généralisation de la distance euclidienne) et cosinus entre les articulations 3D. Chen et al. [144] ont développé un l'algorithme OSVM indépendant basé sur OSVM et CT-PCA, pour la reconnaissance d'activités humaines en termes d'orientation, de placement et de variations de sujets. Enfin, Manzi et al. [145] étudiaient un système utilisant des données de squelette extraites d'une caméra de profondeur pour la reconnaissance d'activités de deux personnes.

III.4.3 Réhabilitation à domicile

Le processus de réhabilitation de compétences perdues à cause d'une maladie ou d'une blessure permet de retrouver l'autonomie maximale. Plusieurs travaux de la littérature visent à offrir des solutions de réhabilitation à domicile.

Abbasi-Kesbi et al. [146] ont présenté un système sensoriel de surveillance des patients lors de la pratique de réadaptation. Ils ont utilisé un capteur inertiel et un magnétomètre au niveau de chaque articulation pour mesurer l'angle désiré et surveiller les angles des articulations en rotation. Dowling et al. [147] ont développé un prototype de rééducation robotisée qui consiste en un robot manipulateur et un algorithme de contrôle. Ce système sert à traiter les troubles musculo-squelettiques. Le fonctionnement de ce système se base sur une Kinect et un système d'électromyographie de surface sans fil. Dans [148], les auteurs ont présenté un gant adaptable permettant aux patients de pratiquer des activités de réadaptation à la maison. Rahman [149] a présenté un système de thérapie gestuelle cyber-physique (interaction du monde physique avec le monde virtuel), en utilisant des données cinématiques, pour fournir des services thérapeutiques à domicile. Pirovano et al. [150] ont proposé l'utilisation de l'exergaming (jeux vidéo qui impliquent d'activités physiques) afin de rendre la réadaptation à domicile efficace et sûre. Villeneuve et al. [151] ont abordé le problème de l'estimation de la cinématique des membres humains pour l'analyse de la marche en réhabilitation. Les auteurs ont proposé d'utiliser deux accéléromètres de faible puissance placés uniquement sur l'avant-bras. La conception prend en compte la performance, la consommation d'énergie et l'acceptation par l'utilisateur. D'autres auteurs [152] et [153] ont présenté un système de réhabilitation à base de miroir assisté par un robot. Ce système permet au patient d'utiliser le membre fonctionnel pour l'entraînement thérapeutique du membre déficient. Bisio et al. [154] ont utilisé un système qui consiste en un smartphone et un accéléromètre équipés d'éléments d'IoT. Le rôle de ce système est la reconnaissance de mouvements (cercles de bras, presse à bras, torsion de bras, boucles,

algues et épaules) pour individualiser les mouvements spécifiques et nécessaires pour la réadaptation physique.

III.4.4 Administration de médicaments

Les solutions de rappel d'administration de médicaments sont devenues un sujet de préoccupation dans la recherche sur les soins de santé. Car, les progrès dans les traitements et les médicaments peuvent être contrebalancés par le faible respect du calendrier de traitement par les patients [155].

Fallahzadeh et al. [156] ont présenté un système basé sur un smartphone pour estimer le moment approprié de rappels de médicaments en se basant sur l'activité quotidienne du patient. Mondol et al. [157] ont développé le système portable interactif *MedRem* en utilisant des commandes vocales et d'afficheurs disponibles sur l'appareil permettant de rappeler et de suivre l'administration des médicaments. Bai et Kuo [158] ont proposé un appareil qui se compose de modules de rappel, de pilules, et de sachets de poudre. Cet appareil sonne et clignote pour rappeler au patient de prendre des pilules ou de la poudre médicinale dans un sac spécifique. Dans [159], Ramljak a proposé un système domotique intelligent pour aider les habitants attachés à leur maison dans l'administration des médicaments (traitement, durée, prochaine visite médicale, etc.). Ce système permet la gestion de notifications générées par prescription. Trois types de notifications sont utilisés : notifications par smartphone, notifications vocales et vidéos. Dans [160], les auteurs ont développé un système de notification de prise de médicaments et de mesure de la tension artérielle pour les personnes âgées. Ce système affiche les notifications à l'aide d'une lampe, qui peut être placée dans le salon. Rosner et al. ont proposé dans [155] une architecture d'un appareil portable de soins qui permet de rappeler et de suivre avec précision le programme de médicaments prescrits. La conception prend en considération les exigences ergonomiques et la facilité d'utilisation.

III.4.5 Gestion des situations d'urgence

Les habitants d'une maison peuvent être des victimes d'accidents ou de situations anormales nécessitant un secours immédiat. Lorsque l'habitant n'est pas en mesure d'appeler de l'aide pour de nombreuses raisons (perte de conscience, incapacité de déclencher l'alarme, etc.), il peut être exposé au risque de perte de vie. Ainsi, de nombreux chercheurs travaillent pour proposer des systèmes intelligents capables de fournir de l'aide et la gestion d'urgences à domicile.

Dans [161], les auteurs ont proposé un système pour la gestion d'urgence psychiatrique (*EM-psychiatric*). Ils ont aussi établi un questionnaire avec des observations de biocapteurs pour améliorer la précision de prédiction de l'état psychiatrique d'urgence. Wang et al. [162] ont proposé une approche de planification de tâches, *HealthEdge*, qui définit différentes priorités de traitement pour différentes tâches. La planification est basée sur les données collectées sur l'état de santé humaine. Le but étant de déterminer si une tâche doit s'exécuter dans un appareil local ou distant afin de réduire le temps de traitement autant que possible. Alam et al. ont proposé dans [163] d'utiliser les WoT pour les soins de santé à domicile. Les symptômes psychiatriques des patients sont recueillis à partir des biocapteurs et présentés sur une interface Web puis analysés automatiquement. Le but étant d'évaluer l'état de santé mentale de l'habitant et de prédire l'état mental psychiatrique d'urgence. Mogale et al. [164] ont mis en œuvre un réseau de capteurs déployés pour localiser les personnes dans une maison. Ce système facilite aux membres d'une équipe d'intervention de localiser les victimes en cas d'urgence (incendies ou autres). Afin de fournir des soins d'urgence dans les zones rurales, Pequeno et al. [165] ont proposé un outil permettant de détecter les battements cardiaques arythmiques et recueillir des données d'un EMG ; puis, ces données sont analysées et classifiées à l'aide d'une base de données publique pour détecter les modèles de battements arythmiques. Eksen et al. [166] ont proposé un prototype qui utilise un smartphone et des capteurs Bluetooth pour estimer le niveau de risque dans le cas d'urgence (incendie, tremblement de terre, etc.). Aussi, ce prototype peut déterminer l'emplacement des habitants et les guider vers une zone de sécurité. Qushem, Dahlan et Ghani [167] ont illustré les besoins, les souffrances, les gains et les défis confrontés par les personnes

âgées et handicapées à la maison. La solution *MyEmergencyAssistant*, qui est un dispositif d'urgence, est conçue et implémentée pour améliorer la sécurité de personnes âgées. Wu et al. [168] ont développé un système cobotique télécommandé qui communique via la voix et la vidéo pour fournir des secours aux personnes en danger. Ce système personnel télérobotique peut assister et fournir de l'aide en urgence et omniprésente les personnes vivant seules. Larkai et al. [169] ont développé un système de télé médecine pour surveiller la fréquence cardiaque. Ce système est capable de contacter un clinicien autorisé dans un endroit éloigné en cas de situations d'urgence. Inibhunu et al. [170] ont étudié la surveillance à distance des patients atteints d'insuffisance cardiaque et de maladies pulmonaires obstructives chroniques à domicile. Les résultats montrent que le sexe, les antécédents médicaux et le statut vital sont des facteurs clés d'hospitalisations et de visites aux urgences.

III.4.6 Diagnostic à domicile

Pour diagnostiquer certaines maladies, il est indispensable que le médecin soit présent à côté du patient pour que le diagnostic soit efficace. Cependant, dans de nombreux cas le diagnostic à distance des patient à domicile devient préférable, voire même nécessaire.

Hamida et Ahmed [171] ont évalué les périodes de sommeil profond en utilisant un seul canal électro-oculogramme et recueillir à distance les données subjectives à travers des journaux de sommeil. Satat et al. [172] ont présenté un appareil portable adapté aux enfants, ainsi que des algorithmes pour l'assistance au diagnostic à distance de l'asthme. L'appareil acquiert des mesures de plusieurs stéthoscopes et envoie ces enregistrements à un spécialiste qui utilise des algorithmes de diagnostic. Karakostas et al. [173] ont proposé un système de diagnostic des personnes souffrant de la maladie d'Alzheimer et de la démence. Ce système se compose d'un ensemble de capteurs pour surveiller les patients ainsi qu'une interface permettant aux cliniciens de visualiser ces données. Les auteurs dans [174] ont implémenté un système de monitoring du CRP afin de diagnostiquer des maladies auto-inflammatoires pour les enfants. Banhiran et al. [175] ont développé un système de diagnostic à domicile de l'OSA par le PSG type 2. Le diagnostic peut être réalisé à domicile par des personnels expérimentés, avec un faible taux d'échec et à faible coût. Dans [176], les auteurs décrivent un système de surveillance et de diagnostic à distance à faible coût du SAHS. C'est un système scalable, extensible, et basé sur l'approche SOA. Dans [177], Callegari et al. ont présenté la plateforme *EpiCare* pour l'aide au diagnostic de l'épilepsie (trouble neurologique). Elle permet une surveillance continue du patient, la capture des informations et des enregistrements EEG, la détection des événements épileptiques et le stockage des données pour qu'elles soient examinées par un spécialiste.

III.4.7 Thérapie à domicile

La thérapie à domicile est recommandée dans plusieurs cas tels que : le séjour à l'hôpital coûte cher, le manque ou absence d'infrastructures médicales ou la résidence du patient se situe loin de l'hôpital. Heureusement avec les avancements technologiques, l'hospitalisation à domicile devient une réalité et moins coûteuse que celle à l'hôpital pour plusieurs types de maladies. Différents travaux visant à proposer des solutions efficaces à cette problématique peuvent être trouvés dans la littérature,.

Chen et al. [178] ont développé un exosquelette léger et portable pour la thérapie des mains à domicile, *HandSOME*, au profit de personnes ayant subi un AVC chronique. Dans le même contexte, Huang, Tu et He [179] ont présenté RUPERT qui est un exosquelette de membres supérieurs pour les thérapies à domicile de patients ayant survécu à un AVC. Dans [180], Rahman et Alelaiwi ont conçu un enregistreur de thérapie qui synchronise les données multimédia (audio et vidéo) avec les données squelettiques en 3D d'un patient. Cet enregistreur permet aussi de créer un fichier de session de thérapie. Ils ont développé également un lecteur pour visualiser le fichier de session complexe et parcourir les medias synchronisés (spatialement et temporellement), et ajouter des commentaires. Dans [181], les auteurs ont proposé une plateforme multi-capteurs pour suivre des gestes et collecter des données thérapeutiques et ambiantes. La plateforme aide les thérapeutes à guider un patient effectuant des exercices de thérapie à domicile. Rybarczyk et al. [182] ont présenté une application

Web, *WebLisling*, offrant une aide complémentaire pour la réhabilitation des patients hispanophones aphasiques. Un groupe d'exercices est conçu par les thérapeutes pour former différentes modalités linguistiques (compréhension écrite/orale et expression), ainsi que la présentation de tâches à domicile pour interagir avec des objets domestiques. Calyam et al. [183] ont conçu le système *ECaaS* qui intègre des applications pour la surveillance de la santé et le coaching de physiothérapie à domicile. Pullano et al. [184] ont présenté un état de l'art sur les technologies cliniques et des méthodologies de détection de l'apnée du sommeil. Les auteurs se sont focalisés sur les avantages, inconvénients, et pertinence pour la pédiatrie.

III.4.8 Télésurveillance continue

La télésurveillance fait partie de la télé médecine et implique une surveillance continue des paramètres pertinents liés aux patients (signes vitaux, etc.). Elle est définie comme étant l'utilisation de l'audio, vidéo et autres technologies de télécommunication et de traitement électronique de l'information pour surveiller l'état d'un patient à distance [185].

À titre d'exemple de l'importance de la télésurveillance, Bashi et al. [186] ont conclu que le télé-monitorage à domicile est généralement efficace pour réduire la ré-hospitalisation et la mortalité liée à l'insuffisance cardiaque. De ce fait, plusieurs solutions de monitoring des malades à domicile ont été proposées dans la littérature. Un système de surveillance continue et gestion de l'insuffisance cardiaque basé sur le Cloud, a été proposé dans [187]. Le prototype est composé de plusieurs capteurs (température cutanée, force, déplacement, balance de poids numérique) ; leurs données sont fusionnées à l'aide d'un algorithme. Un autre modèle hiérarchique a été élaboré dans [188] pour relier l'administration d'insuline sous-cutanée et les glucides consommés à la surveillance continue du glucose. L'objectif étant de faciliter les tests *in silico* et le développement de systèmes d'administration d'insuline. Les applications des méthodes sans contact en utilisant la caméra Kinect pour la surveillance de respiration ont été illustré dans [189]. La méthode est non invasive et simple pour détecter la fréquence respiratoire et permet d'analyser la respiration. Panicker et Kumar ont présenté dans [190] un système sans fil de surveillance des paramètres physiologiques. Ce système collecte et évalue plusieurs paramètres tels que la pression artérielle, la fréquence de pouls et la chute d'une personne âgée. L'architecture matérielle de ce système est composée de capteurs, d'un microcontrôleur PIC, d'un module Bluetooth et d'un téléphone/ordinateur portable. De ce fait, ce système fournit une surveillance sûre et précise en donnant aussi la liberté de mouvement à la personne surveillée. Un autre système de surveillance de la pression artérielle à domicile a été proposé dans [191]. Ce système, contrôlé à distance via un module Bluetooth, est incorporé dans un fauteuil et permet de mesurer les signaux ECG et PPG des utilisateurs assis. Enfin, Lee et Chang [192] ont proposé une technique basée sur les appareils de mesure de la tension artérielle oscillométrique et régression de Boltzmann. L'objectif de cette technique étant de comprendre la relation entre les caractéristiques des signaux oscillométriques et la tension artérielle acquis.

III.5 Prise de décision

Un système domotique d'e-santé devrait assurer des capacités de prise de décisions et offrir des outils d'aide à la décision (assigner un patient à un professionnel de santé, etc.). Il devrait, en outre, être capable de résoudre des situations dans un environnement dynamique soumis à de nombreuses contraintes dans des délais raisonnables [193].

Certains systèmes sont proposés pour la gestion de situations spécifiques telle que la détection de chute [194]. D'autres systèmes n'offrent qu'une seule décision comme l'envoi de notifications aux intervenants [195] ; d'autres utilisent des logiciels intelligents [196] ou des technologies spécifiques [197]. Par conséquent, elles ne sont pas génériques ni facilement extensibles. Cependant, Amiribesheli et ses collègues [198] ont listé quelques approches génériques de prise de décision telles que les arbres de décision, la logique floue, les réseaux de neurones artificiels, les machines à vecteurs de support, la classification naïve bayésienne, les modèles de Markov cachés, les modèles émergents,

et les ontologies. Dans la même perspective, d'autres chercheurs ont utilisé les tables de décisions [199], les règles [200] et les FSM [201].

La suite de cette section ne s'intéresse qu'aux techniques déterministes avec une définition manuelle des contraintes de décisions (arbres de décision, modèles émergents, table de décisions, règles, et FSM). Ceci dans le but d'augmenter l'acceptabilité des systèmes domotiques d'e-santé par les utilisateurs (habitants d'un côté et intervenants de l'autre côté) tout en leur facilitant la compréhension des comportements de ces systèmes domotiques [202].

III.5.1 Prise de décisions à base de règles

Les arbres de décision, les modèles émergents et les tables de décisions sont basées sur les règles. Une règle est de la forme *IF <condition> THEN <action>*.

Ces techniques génèrent des décisions pour gérer ces situations. Malheureusement, dans certaines circonstances, les décisions suggérées par les systèmes domotiques ne peuvent pas faire face à la situation actuelle, de sorte que le système invoquerait les mêmes décisions. Dans ce cas, ces systèmes peuvent devenir instables et entrer en boucles infinies. La méthodologie la plus adaptée pour pallier aux inconvénients des règles est l'utilisation des FSM.

III.5.2 Prise de décision à base des FSM

Plusieurs travaux de la littérature utilisent les FSM pour gérer les situations anormales à domicile. Dans [203], les auteurs ont proposé une méthodologie utilisant un FSM basée sur les transitions floues, FSMFT. Aussi, les appareils domestiques sont modélisés en *FSMFT*. Dans [204], un agent virtuel est proposé dans le but de réaliser des opérations pour un système de réseau domestique (appareils électro-ménagers et capteurs). Le comportement, événements et actions (mouvement de l'agent, synthèse vocale, reconnaissance vocale, etc.) de l'agent virtuel sont définis sur la base de FSM. Dans [205], un système permet de classer les activités de la vie quotidienne est construit sur la base de règles. Ainsi, un FSM utilise des informations contextuelles afin d'achever l'application des règles adaptatives. Dans [206], un FSM est utilisé pour représenter les activités quotidiennes de l'individu et ses interactions avec les appareils domestiques. Les auteurs ont présenté un ARDG basé sur des FMS de comportement. Dans [207], un système basé sur les FSM est proposé pour détecter les activités liées au sommeil (entrée au lit, réveil, etc.). Ce système peut être utilisé pour évaluer les troubles du sommeil dans les milieux cliniques et à domicile ; il est aussi utilisé pour la surveillance du sommeil pendant la nuit. Dans [208], les auteurs ont décrit un système open source permettant de construire et de déployer des comportements de robot construits sous forme de HFSM. En utilisant un FSM, les robots domestiques peuvent effectuer des tâches complexes telles que l'ouverture de portes de réfrigérateur, basculement d'un interrupteur, déverrouillage d'une porte, etc. Dans [209], le comportement des habitants est modélisé sur la base d'un FFSM. Le FFSM est utilisé pour établir une relation entre les données collectées à partir de capteurs et les comportements des habitants. L'objectif principal est d'optimiser la consommation d'énergie et le confort. Dans [210], un prototype de réseau de capteurs est développé pour détecter des activités communes dans une maison (cuisine, repas, etc.). Le fonctionnement du prototype repose sur la mesure de l'emplacement et des mouvements de la personne (position des bras, mouvement de tête, etc.). Ces mesures sont analysées en utilisant des FSM hiérarchique orientées objet. Dans [211], un prototype de système pour la maison intelligente est développé dans le but de simuler le comportement humain. Dans ce système, le convertisseur « *plan-TO-action* » basé sur le FSM et une distribution Gaussienne de probabilité est proposée. En se basant sur des paramètres tels que l'heure et le lieu, ce convertisseur produit des actions. Dans [212], un système est proposé pour localiser l'habitant à l'intérieur de la maison (cuisine, salle de bain, lit, etc.). Ce système est basé sur un FSM capable de garder une trace des emplacements de la personne. Les règles de transition d'état sont définies pour rendre le FSM réactif aux mouvements de personnes.

III.6 Surveillance à distance à base de Technologies Web

Il est évident qu'il n'est pas possible de développer un système parfait de détection et gestion des situations anormales, au moins à court ou à moyen termes. La surveillance des habitants dans leurs domiciles nécessite des interactions entre les intervenants à distance et l'espace surveillé à domicile. En conséquence, le système de surveillance devrait être adaptable aux outils des assistants quelles que soient les technologies impliquées (appareils, réseaux, etc.). L'un des meilleurs candidats technologiques pouvant faire face à cette exigence est la technologie Web. Certaines solutions ont seulement permis de transporter des données de la maison et de les afficher sur une page Web pour les intervenants [213, 214]. D'autres solutions permettent aux intervenants de contrôler à distance les appareils domestiques en temps réel [131], et d'établir des communications bidirectionnelles avec différents types de contenus (audio, vidéo et données).

Dans [215], les auteurs ont proposé une solution basée sur le Web pour la surveillance de la santé des habitants à distance et un plug-in *Flash* couplé à un serveur *Flash Red5* pour la vidéo-conférence. Une telle conception souffre de nombreuses limitations. Par exemple, un lecteur vidéo « *Flash player* » doit être installé sur l'appareil qui exécute l'application Web. En outre, le développement d'une application Web basée sur *Flash* nécessite une expertise significative (HTML, CSS, JavaScript et Action Script). Il nécessite également des plateformes et des outils propriétaires, tels que *Flash* et *Dreamweaver*. D'autres solutions utilisent *WebRTC* [216] pour assurer la communication audio-visuelle en conjonction avec d'autres technologies telles que SMS pour échanger des données avec l'espace surveillé [217]. Dans [218] et [219], le canal de données *WebRTC* est utilisé pour véhiculer les données et les commandes de contrôle à distance des appareils domestiques. Dans la dernière solution, un navigateur Web est utilisé comme proxy à l'intérieur de la maison pour recevoir les données du canal données de *WebRTC* afin de les transmettre aux appareils et vice-versa. Malheureusement, aucune de ces solutions n'est basée sur des technologies normalisées ni assurent un accès direct à l'environnement domestique. Moustafa et al. [220] ont proposé une passerelle IoT basée sur *WebRTC*. Cette passerelle assure le contrôle direct des appareils domestiques (appareils à utilisation courante ou appareils médicaux) et fournit une assistance à distance aux habitants confrontés à des situations anormales. Pierleoni et al. [221] ont utilisé une extension du navigateur pour permettre l'accès aux données capteurs à partir d'applications Web via le canal données de *WebRTC*.

D'après l'étude effectuée dans cette section, la meilleure solution permettant l'accès à distance aux réseaux domestiques via le Web est l'utilisation de *WebRTC*. Néanmoins, l'absence de solutions permettant l'accès direct à la passerelle domestique représente un handicap majeur d'utilisation de cette technologie.

III.7 Environnement domestique pour l'e-santé

Théoriquement, un environnement domotique pour l'e-santé est une maison intelligente qui offre tous les services liés directement à la santé de ses habitants. Cet environnement devrait en outre offrir les services nécessaires/souhaitables pour le bien être des habitants. Pratiquement, l'implémentation d'un tel environnement n'est pas faisable dans l'immédiat. Cette section énumère les services qu'une maison intelligente doit offrir ainsi qu'une liste d'exigences à prendre en compte lors de l'implémentation [222].

III.7.1 Services de base

À partir de l'état de l'art, un environnement domotique pour l'e-santé devrait répondre aux besoins suivants : détection et gestion des situations anormales, surveillance et contrôle à distance, communication inter-appareils, communication homme/machine, la sécurité et vie privé :

- *Gestion automatique des services domestiques* : Parmi les objectifs d'avoir une maison intelligente est la gestion des services domestiques. Principalement les services de santé et de confort. En générale elle couvre :

- a. Les algorithmes d'apprentissage automatique comme ceux utilisés pour la détection de chutes et la reconnaissance des activités des habitants.
 - b. La prise automatique des décisions comme détecter les situations anormales et décider quelles actions devraient être accomplies.
- *Communication inter-appareils* : il est attendu que l'environnement domotique soit riches des appareils est de service qui sont souvent hétérogènes. Ainsi, il est souhaitable d'avoir de protocoles de communication facilitant l'interopérabilité avec les défient appareils, comme il est souhaitable que ces protocoles offrent les fonctionnalités : découvert, notification, contrôle, etc.
- *Interaction homme-machine* : il y a toujours le besoin de contrôler manuellement les appareils domestique quel que soit leur intelligence. À cet effet, un environnement domestique doit toujours donner aux habitants des interfaces ergonomiques pour le contrôle et le paramétrage de ces appareils. Ces interfaces devraient aider les habitants ayant de difficulté d'interagir avec les appareils.
- *Surveillance et contrôle à distance* : Avoir un système de gestion automatique et manuel des services domestiques n'est suffisant. Il faut permettre le contrôle à distance pour faire face à certaines situations (absence des habitants à domicile, des situations d'urgence nécessitent l'intervention de spécialités, etc.).
- *Sécurité de données et vies privées* : l'environnement domotique manipule de données personnelles très sensibles. La non protection de ces données touche directement la sûreté et l'intimité des habitants, surtout avec la possibilité d'accéder à cet environnement de l'extérieur. Par conséquent, les données circulées dans un tel environnement doivent être cryptées. En outre, l'accès à ces données ainsi que leur manipulation ne doivent être permis qu'aux personnes ayant le droit.

III.7.2 Exigences

L'étude des travaux de la littérature révèle que la mise en œuvre efficace d'un environnement domestique pour l'e-santé présente de nombreux défis et exigences fonctionnelles qui n'ont pas encore été atteints. Ainsi, ces défis et exigences identifiés sont donnés comme suit :

- *Généricité* : l'environnement domestique pour l'e-santé doit être générique et adaptable à tout type de situations d'urgence,
- *Extensibilité* : Il doit être facilement extensible pour prendre en considération de nouvelles situation et technologies,
- *Lisibilité* : Il est préférable que les données échangées et les fichiers de paramétrage et de journalisation soient lisibles par les êtres humains,
- *Optimisation de ressources* : la consommation des ressources devrait être optimisée pour la performance nécessaire à accomplir les tâches en cours,
- *Facilité de déploiement* : le déploiement d'un environnement domestique pour l'e-santé devrait être facile tout en utilisant des technologies existantes et maîtrisées,
- *Accès à distance* : les environnements domestiques pour l'e-santé doivent assurer aux intervenants la possibilité d'y accéder à distance,
- *Interopérabilité* : les environnements domestiques pour l'e-santé doivent être basés sur des technologies standardisées adaptables à l'hétérogénéité de l'écosystème d'e-santé.
- *Sécurité* : les cinq exigences de sécurité identifiées (c.-à-d. confidentialité, intégrité, authentification, disponibilité et contrôle d'accès) doivent être remplies,
- *Fiabilité* : les canaux de communication entre l'appareil, l'intervenant et l'environnement domestique doivent empêcher la perte de données et les erreurs,
- *Communication en temps réel* : certaines situations d'urgence nécessitent un échange optimal et en temps réel entre la maison et l'extérieur. Ainsi, des environnements domestiques pour l'e-sante avec un faible délai de réponse sont fortement recommandés,

- *Mobilité* : un intervenant peut accéder à ces environnements à partir de n'importe quel endroit d'une manière omniprésente. Par exemple, l'intervenant peut gérer une situation d'urgence depuis son domicile ou son établissement de travail,
- *Hétérogénéité* : l'intervenant pourrait être en mesure d'utiliser n'importe quel type de technologie et dispositif d'accès (par exemple, des réseaux cellulaires 4G avec un smartphone),
- *Qualité de service (QoS)* : l'environnement domestique pour l'e-santé pourrait être capable de mesurer la qualité de service et d'être adapté dynamiquement aux ressources disponibles (par exemple, la bande passante),
- *Traversée de NAT* : les données échangées peuvent traverser de nombreux réseaux avec différentes politiques et autorisations utilisées. Dans ce cas, l'intervenant par exemple doit pouvoir se connecter à la maison même si le réseau se trouve derrière un NAT ou un pare-feu,
- *Audio, vidéo et données* : afin de faciliter la perception de l'environnement domestique et la communication entre les intervenants, le mécanisme utilisé doit fournir la possibilité de communiquer de l'audio, la vidéo, et les données,
- *Communication bidirectionnelle* : l'environnement domestique doit offrir une communication bidirectionnelle (audio, vidéo et données) entre le personnel médical situé à l'extérieur de la maison et les habitants,
- *Interaction Homme-Machine* : l'environnement domestique devrait fournir une interface et une interaction naturelle avec les utilisateurs (habitants et personnel médical). Il doit aussi assurer une interaction conviviale et intuitive pour les utilisateurs novices,
- *Sensibilité au contexte* : un environnement domotique devrait être sensible au contexte qui entoure l'habitant. Autrement dit, il doit prendre en considération le contexte dans la prise de décisions.
- *Scalabilité* : un environnement domotique devrait être capable de gérer un nombre important d'appareils domestiques et de fournir de l'aide à plusieurs habitants confrontés aux diverses situations d'urgences possibles. Aussi, cet environnement doit offrir la possibilité à plusieurs intervenants de l'extérieur à gérer ces situations d'urgences.

III.8 Conclusion

Ce chapitre a présenté les éléments à prendre en considération lors de la mise en œuvre de systèmes d'e-santé à domicile, à savoir :

- Les appareils domestiques à usage médical ainsi que des recommandations sur leurs conception et utilisation appropriées,
- Les infrastructures intelligentes à domicile principalement les *BAN* et les robots offrant des services de santé,
- Les approches de prise de décisions en mettant l'accent sur celles basées sur les *FSM*,
- Les technologies de surveillance à distance et surtout les technologies à base du *Web*,
- Les services d'e-santé à domicile les plus importants ainsi que des travaux récents de la littérature pour chaque service cité.

Enfin, le chapitre a donné un aperçu sur les services de base et les exigences des environnements domotiques pour l'e-santé à domicile. Ces derniers feront l'objet du chapitre suivant.

Chapitre IV : Environnement domotique pour l'e-santé

IV.1 Introduction

Dans les sociétés modernes, les gens passent la majeure partie de leur temps loin de chez eux (souvent en travail, faire des loisirs, sports, etc.) ; la plupart du temps restant, les gens sont à la maison en train de dormir [4]. Cependant, les personnes dépendantes (personnes âgées, personnes souffrant de maladies chroniques/handicaps, patients à domicile, etc.) sont attachées à leur domicile dans leur vie quotidienne. Par conséquent, ces personnes ont besoin d'une surveillance constante pour leur fournir de l'aide et assistance afin d'accomplir leurs activités quotidiennes et éviter les accidents domestiques.

Afin de faciliter l'aide et l'assistance à domicile aux habitants et principalement aux personnes dépendantes, il est recommandé de mettre en œuvre un environnement domotique pour l'e-santé. Techniquement, un tel environnement devrait répondre à certaines exigences telles que la sécurité, l'interopérabilité, la communication avec les habitants, etc. De plus, cet environnement doit offrir cinq services de hauts niveaux : (i) gestion automatique des services, (ii) communication entre les services, (iii) contrôle à distance, (iv) communication avec les habitants, (v) et finalement la sécurité des données.

Ce chapitre détaille la conception du système proposé pour la gestion des urgences à domicile. Il présente également ses composants ainsi que ses fonctionnalités les plus importants. Par contre, la gestion automatique des services de base et le contrôle à distance feront l'objet d'autres chapitres.

Le reste de ce chapitre est organisé en six sections. La section suivante donne un aperçu global sur l'environnement domestique. La troisième section décrit l'architecture du système de gestion des situations d'urgences proposé. La quatrième section décrit un nouveau middleware proposé pour la gestion de la communication entre les services domestiques. La cinquième section utilise le concept de l'identité relative pour faciliter la communication entre les habitants et la maison intelligente. Finalement, la sixième section présente la contribution pour la sécurisation de l'environnement domotique.

IV.2 Environnement domotique pour l'e-santé proposé

L'environnement domotique pour l'e-santé consiste en l'ensemble de technologies de communication et d'informations, d'appareils, et des concepts théoriques mis à la disposition de l'habitant afin de promouvoir sa santé. Un tel environnement est conçu par un système informatique englobant les points suivants :

- *Ensemble de services de base fournis par les appareils domestiques* : il s'agit de l'acquisition de données relatives à l'environnement physique de la maison, leur réaction sur cet environnement, etc.,
- *Protocoles de communication entre appareils* : il permet d'assurer l'abstraction de l'ensemble des messages échangés indépendamment des technologies utilisées au niveau des réseaux domestiques,
- *Système de communication entre les habitants et le système domotique* : il doit permettre une communication la plus naturelle possible entre les habitants et le système domotique,

- *Système intelligent permettant de coordonner l'exécution des services domestiques dans le but de fournir de services complets de santé,*
- *Système de monitoring et de contrôle à distance : il doit permettre aux personnes compétentes d'intervenir pour gérer les cas que le système domotique n'a pas pu résoudre,*
- *Mécanismes et recommandations pour la sécurisation d'un tel système ainsi que la préservation de la vie privée des habitants,*

IV.3 Conception du système

L'objectif principal de ce travail consiste en la proposition d'un environnement domotique pour la gestion des situations d'urgence à domicile (chute, perte de connaissance, etc.) concrétisé par l'implémentation du système *HEMS*. Il est composé de services de haut niveau : gestion des services domestiques, middleware pour la communication entre les appareils domestiques, communication entre la maison intelligente et les habitants, monitoring et contrôle des services domestiques à distance tout en assurant la sécurité et la préservation de la vie privée.

La figure 1 présente l'architecture globale du système *HEMS* proposée ; elle est composée de :

1. *Appareils domestiques* : ils comprennent [223] [224] [225] :
 - *Capteurs qui acquièrent des données de l'environnement intérieur* : les capteurs environnementaux tels que les thermomètres, les capteurs vitaux (glucomètres, ...) et les indicateurs d'état des appareils (état de la porte, ...).
 - *Actionneurs qui appliquent des mesures sur les appareils de l'environnement intérieur.*
2. *Application Web* : c'est un outil Web permettant aux soignants de contrôler les appareils domestiques. Elle fournit également les principales fonctionnalités nécessaires pour faire face à des situations anormales à domicile. Le contenu Web de l'application Web est personnalisé en fonction de la nature de l'événement (informations nécessaires pour décrire les situations signalées), l'intervenant ciblé qui peut fournir l'autorisation d'accès, les descriptions des appareils domestiques à utiliser (taille de l'écran), etc.
3. *Passerelle domestique* : elle assure la communication entre les appareils domestiques et les applications Web distantes. La passerelle domestique est responsable de l'automation et de la gestion des services à domicile. Elle exécute des programmes intelligents qui permettent de détecter et gérer les situations d'urgence. La passerelle domestique comprend une base de données locale qui contient toutes les données relatives à l'environnement domestique (descriptions des appareils, valeurs par défaut de la température, de l'humidité, etc.), les profils des résidents, une liste prédéfinie d'intervenants disponibles, etc. La passerelle contient des données sur le DME des habitants, ainsi que certaines données requises (médicaments à prendre par les patients, etc.).
4. *Serveurs Web et de signalisation* : ils fournissent les applications Web aux intervenants et assurent les fonctions de signalisation entre les applications Web et la passerelle domestique (établir des connexions *WebRTC*, etc.).
5. *Serveur STUN* : dans la plupart des cas, la passerelle domestique ou l'application Web se trouve derrière un *NAT*. Dans une telle situation, chaque pair (passerelle domestique ou application Web) doit connaître l'adresse publique et le port de l'autre pair pour l'atteindre. Par conséquent, on va mettre en place deux (ou plus) serveurs *STUN* [226] pour résoudre ce problème. Il permet à chaque pair d'obtenir la correspondance entre son adresse IP publique/privée et son port public/privé.
6. *Serveur TURN* : le serveur *TURN* est utile lorsque l'application Web est derrière un *NAT* symétrique ou un pare-feu qui refuse et bloque le protocole *UDP*. Dans de telles circonstances, le serveur *TURN* joue le rôle d'élément intermédiaire entre la passerelle domestique et l'application Web. Toutes les informations (audio, vidéo et données) échangées transitent par le serveur *TURN* :

- Sur TCP : entre l'application Web et le serveur TURN.
- Sur UDP : entre le serveur TURN et la passerelle domestique.

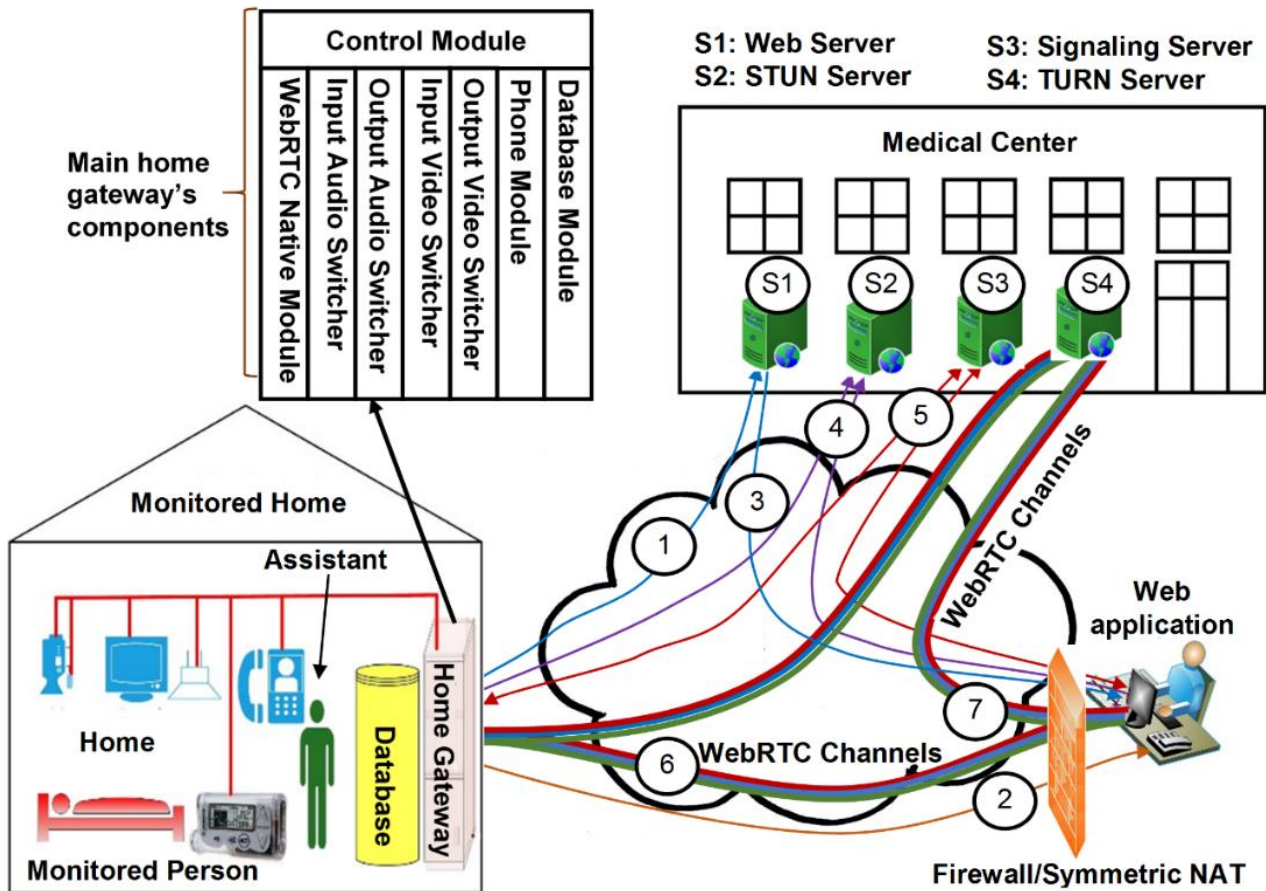


Figure 1. Architecture globale du système HEMS proposé

La passerelle domestique proposée se compose de plusieurs modules qui assurent les différentes fonctionnalités du HEMS (Figure 1). Les modules principaux sont décrits comme suit :

1. *Module de contrôle* : il est responsable de l'exécution d'algorithmes intelligents pour contrôler la passerelle domestique, les services domestiques et gérer automatiquement les situations d'urgence.
2. *Module natif WebRTC* : ce module permet la communication avec les applications Web utilisant les canaux WebRTC pour les flux audio/vidéo en temps réel, le canal de données pour envoyer les commandes à la passerelle et échanger les données avec elle.
3. *Module téléphonique* : il est chargé de notifier les intervenants sur les situations d'urgence. Le type de notification peut être un bip, un SMS ou un IM contenant des données relatives à l'urgence.
4. *Modules de commutation audio/vidéo d'entrée* : ces modules permettent de commuter la source de l'audio/vidéo envoyée par le canal audio/vidéo en fonction de la demande des utilisateurs. Les sources vidéo peuvent être fournies par n'importe quel appareil connecté à la passerelle domestique, comme des caméras, des fichiers enregistrés ou des vidéos traitées (vidéos anonymisées, vidéos fusionnées provenant de plusieurs caméras, etc.). Il y a lieu de noter que les sources audio et vidéo peuvent être séparées ; car, dans certains cas d'assistance, l'intervenant doit entendre le son d'une source différente de la vidéo affichée.
5. *Modules de commutation audio/vidéo de sortie* : ils permettent de commuter l'audio/vidéo reçu d'un appareil à un autre. De plus, les flux reçus de la passerelle domestique peuvent être diffusés sur différents appareils tels que des appareils mobiles, des téléviseurs, etc. La

destination des flux pourrait également être un périphérique connecté de l'extérieur de la maison.

6. *Module de base de données* : ce module gère l'accès à la base de données située au niveau de la passerelle domestique. Cette base de données contient une partie des DME des habitants, des informations sur les appareils et services domestiques, les séquences vidéo et audio enregistrées, etc.

IV.4 Communication inter-appareils domestiques

Un nouveau middleware, *tinyUPnP*, a été proposé dans [227] permettant aux appareils hétérogènes de communiquer de manière interopérable pour la gestion efficace des services utilisés par un habitant dans les réseaux domestiques/BAN. *tinyUPnP* a permis de réduire la taille des données transférées et, par conséquent, le temps de traitement tout en conservant les principes de fonctionnement de *UPnP* [228].

Figure 2 illustre un réseau composé d'un ensemble d'appareils utilisés pour gérer le niveau de glucose. Chacun de ces appareils exécute un ou plusieurs services. Ces appareils peuvent exécuter des services qui mesurent la glycémie, le niveau d'activité, etc. La communication entre les services du réseau est garantie par *tinyUPnP*.

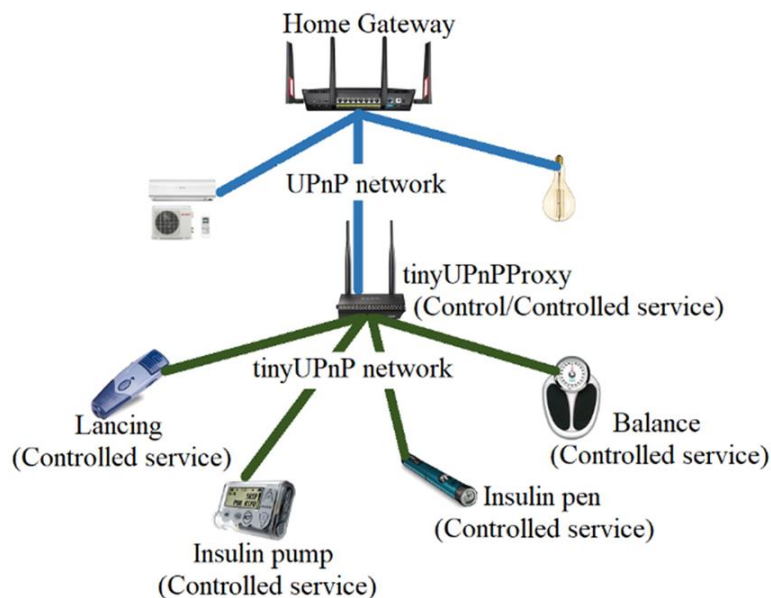


Figure 2. Réseau domestique géré par *tinyUPnP*

IV.4.1 *tinyUPnP*

L'architecture de *tinyUPnP* se compose de services contrôlés et de services de contrôle. Chaque *service contrôlé* représente un service disponible dans le réseau domestique. Cependant, le *service de contrôle* s'occupe de la gestion des services contrôlés. Pareillement à *UPnP*, *tinyUPnP* est basé sur quatre nouveaux protocoles : *tinyHTTP*, *tinySSDP*, *tinyGENA* et *tinySOAP* qui sont similaires aux protocoles *HTTP*, *SSDP*, *GENA* et *SOAP* de *UPnP*. Aussi, un proxy appelé *tinyUPnPProxy* est proposé pour faciliter l'interconnexion entre le réseau basé sur *tinyUPnP* et ceux basés sur *UPnP*. Le rôle principal de *tinyUPnPProxy* est de traduire les messages de *tinyUPnP* en messages *UPnP* et vice-versa.

IV.4.1.1 Protocole *tinyHTTP*

tinyHTTP est un protocole client/serveur utilisé pour gérer la communication entre les éléments du réseau domotique. Les clients envoient des demandes à un serveur et le serveur sollicité répond à ces requêtes. La requête est un message composé d'une ligne de commande, d'un en-tête,

d'une ligne vide et d'un corps. La ligne de commande se compose d'une méthode et de la version du protocole. Dans ce travail, la méthode « *G* » est utilisée pour demander une ressource, et la méthode « *P* » est utilisée pour envoyer le contenu (les données) au serveur. La version du protocole utilisé est soit « *1.0* » ou « *1.1* » qui est semblable au *HTTP*. La ligne de commande est suivie d'un en-tête. L'en-tête est un ensemble (peut être un ensemble vide) de lignes. Chaque ligne est constituée d'un nom d'attribut et sa valeur séparés par « : ». Les attributs acceptés sont :

- *CL* : pour indiquer la longueur du corps du message.
- *CT* : pour indiquer le type de contenu ; par défaut, le type est *XML*.

Le message de réponse est composé de la ligne d'état, de l'en-tête, de la ligne vide et du corps. La ligne d'état se compose de la version du protocole et du code d'état (il s'agit d'un code indiquant si la requête de client est bien prise en compte ou des erreurs existent). Les mêmes codes utilisés par *HTTP* sont utilisés par *tinyHTTP*. Par exemple, le code « *200* » est utilisé pour indiquer un succès, « *500* » est utilisé pour indiquer une erreur au niveau du serveur, etc.

IV.4.1.2 Protocole *tinySSDP*

tinySSDP permet aux services contrôlés de découvrir le service de contrôle et vice-versa. Lorsqu'un service contrôlé rejoint le réseau, il diffuse un message « *Alive* » pour annoncer sa présence. Chaque fois qu'un service contrôlé souhaite quitter le réseau, il diffuse le message « *Bye-bye* » afin d'informer les services de contrôle qu'il n'est plus disponible sur le réseau. Ce message « *Alive* » consiste en une ligne de commande composée de la méthode « *N* » et de la version du *tinyHTTP* séparées par un espace ; la ligne de commande est suivie d'une ligne vide et d'une liste de paires (attribut, valeurs). Ces attributs avec leurs valeurs sont donnés comme suit :

- *L* : contient l'URL de la description du service. La description est fournie suivant la spécification utilisée par le forum *UPnP*.
- *NT* : contient le type de service.
- *NTS* : contient la valeur « *a* ».
- *USN* : contient le nom unique du service.

Le message « *Bye-bye* » contient la même ligne de commande que le message « *Alive* » ; il contient également les attributs « *NT* » et « *USN* » avec les mêmes valeurs que dans le message « *Alive* ». Cependant, il contient la valeur « *b* » dans l'attribut « *NTS* ».

Lorsqu'un service de contrôle est ajouté au réseau, il diffuse le message de recherche « *MSearch* » sur le réseau dans le but de trouver des services contrôlés. Les services contrôlés intéressés répondent en envoyant le message « *Alive* ». Ce message de recherche « *MSearch* » contient dans la ligne de commande la méthode « *MS* » et la version de *tinyHTTP* utilisé. L'en-tête est composé des attributs suivants :

- *MAN* : contient la valeur « *d* ».
- *ST* : contient le type de services recherchés.

Le service contrôlé répond au message « *MSearch* » par l'envoi d'un message « *Alive* ». Ce dernier contient la ligne d'état avec la version *tinyHTTP* et le code d'état avec la valeur « *200* ». De plus, le message de réponse contient les attributs « *L* », « *ST* » et « *USN* ».

IV.4.1.3 Protocole *tinyGENA*

tinyUPnP utilise *tinyGENA* pour transporter les messages d'événements. Dans le cas où un service de contrôle est intéressé par un service contrôlé, il envoie un message d'abonnement à ce service. La ligne de commande du message d'abonnement se compose de la méthode « *S* » et de la version du *tinyHTTP*. De plus, il contient l'attribut « *TO* » dont la valeur est la durée maximale proposée pour la validité de l'abonnement sollicité. Le service contrôlé répond à ce message

d'abonnement avec un message de confirmation. Le message d'abonnement contient les deux attributs suivants :

- *SID* : contient l'identifiant unique de l'abonnement.
- *TO* : contient la durée maximale de l'abonnement.

Avant l'expiration de l'abonnement en cours, le service de contrôle peut le renouveler. Dans un tel cas, il doit envoyer un message de renouvellement de l'abonnement au service contrôlé. La ligne de commande de ce message contient la méthode « *S* » et la version du *tinyHTTP* utilisé. En outre, il contient l'attribut « *SID* » (contient l'identifiant de l'abonnement à renouveler) et « *TO* ». Lorsqu'un service de contrôle ne veut pas recevoir les messages d'événements d'un service contrôlé donné, il annule son abonnement pour ce service. Ainsi, il envoie un message avec une ligne de commande contenant la méthode « *U* » et la version de *tinyHTTP*. L'en-tête est composé uniquement de l'attribut « *SID* ». Après la réception d'un message d'annulation, le service contrôlé doit envoyer un accusé de réception. Ce message consiste en une ligne d'état contenant la version de *tinyHTTP* utilisée et le code d'état avec la valeur « 200 ».

Chaque fois qu'un service contrôlé observe un changement dans l'une de ses variables d'état, il envoie un message d'événement aux services de contrôle souscrits. La ligne de commande de ce message est composée de la méthode « *N* » et de la version du *tinyHTTP*. L'en-tête des messages d'événement est composé des attributs « *SID* », « *CL* » et « *SEQ* ». La valeur de l'attribut « *SEQ* » est le numéro de séquence du message d'événement, alors que l'attribut « *CL* » contient la longueur du corps du message. Le message du corps est un document XML qui contient les variables modifiées avec leurs nouvelles valeurs. La liste des variables modifiées se trouve dans l'élément « *e* ». Chaque variable est contenue dans un élément ayant le même nom et contenant la nouvelle valeur de cette dernière. Après que le service de contrôle reçoive un message d'événement, il doit répondre en envoyant un accusé de réception. Ce message consiste uniquement en la ligne d'état contenant la version *tinyHTTP* utilisée ainsi que le code d'état ayant la valeur « 200 ».

IV.4.1.4 Protocole *tinySOAP*

Dans certaines circonstances, un service de contrôle invoque une(des) action(s) d'un service contrôlé. Pour ce faire, le service de contrôle utilise le protocole *tinySOAP* pour envoyer les messages d'invocation. La ligne de commande de ces messages contient la méthode « *P* » et la version de *tinyHTTP* utilisé. L'en-tête contient les attributs « *CL* » et « *A* ». Ce dernier attribut, « *A* », contient le nom de l'action à invoquer. Le corps du message est un document XML qui contient l'élément « *b* ». Cet élément, « *b* », contient un ensemble d'éléments ; chacun a le nom de l'argument correspondant de l'action invoquée avec sa valeur.

Après avoir exécuté l'action invoquée, le service contrôlé répond par un message contenant le résultat retenu par l'action. Dans le cas où l'action est exécutée avec succès, la ligne d'état du message contient la version *tinyHTTP* et le code d'état « 200 ». L'en-tête contient l'attribut « *CL* » et la longueur du corps du message. Le corps de message est un document XML constitué de l'élément « *b* ». Cet élément, « *b* », contient un ensemble (qui peut être vide) d'éléments ; chacun contient une valeur retournée par l'action invoquée. L'élément XML contenant la valeur retournée par l'action exécutée a le même nom d'argument correspondant.

Si le service contrôlé rencontre une erreur lors de l'exécution de l'action, il envoie un message contenant dans la ligne d'état la version *tinyHTTP* et « 500 » comme code d'état pour indiquer une erreur. L'en-tête du message contient l'attribut « *CL* ». Le message d'erreur contient le code de l'erreur. Le message d'erreur est un message XML qui se compose de l'élément « *b* » contenant à son tour le code de l'erreur retournée par l'action invoquée.

IV.4.1.5 *tinyUPnPProxy*

Le proxy *tinyUPnPProxy* est un élément très important dans la mise en œuvre de l'architecture *tinyUPnP*. En effet, il permet l'interfaçage entre les sous réseaux *tinyUPnP* et le réseau domestique

qui est basé, dans le cadre de ce travail, sur *UPnP*. *tinyUPnPProxy* permet aussi l'interfaçage avec Internet. Le rôle principal est de transformer les messages *UPnP* en entrée à des messages *tinyUPnP* et vice-versa.

IV.4.2 Tests et résultats

Afin de valider le middleware *tinyUPnP* proposé, deux tests sont effectués : (i) un test de faisabilité et (ii) un test de performance. Le test de faisabilité est réalisé pour montrer que la mise en œuvre du middleware est possible ; le deuxième test (de performance) est réalisé pour montrer que ce middleware est plus efficace que l'*UPnP*.

IV.4.2.1 Test de faisabilité

Pour tester la faisabilité du *tinyUPnP*, les services suivants sont implémentés sur un PC en utilisant le langage de programmation *Java* :

- *activityLevelService* pour mesurer les niveaux d'activité du patient.
- *carbDietService* pour rétablir le régime des hydrates de carbone.
- *correctionBolusService* pour récupérer le bolus de correction.
- *insulinPenService* pour régler le stylo d'insuline à la dose appropriée.
- *audioDisplayService* utilise la voix pour donner au patient les informations et les instructions sur l'utilisation du stylo à insuline. Il prend en compte la langue du patient (arabe, anglais, etc.). Ce service est utilisé pour les patients aveugles.

La composition de ces services est réalisée à l'aide de BPEL. Le script BPEL est exécuté par le service de contrôle. L'objectif est de calculer la dose d'insuline de correction avant 16h00 ; ensuite, il en informe le patient aveugle à utiliser le stylo à insuline.

Tout d'abord, le service de contrôle appelle les services *activityLevelService* et *carbDietService* pour obtenir les données nécessaires. Puis, le service *correctionBolusService* est appelé pour calculer la dose d'insuline. Par la suite, le service *insulinPenService* est invoqué pour régler le stylo d'insuline à la dose appropriée. Enfin, le service *audioDisplayService* est invoqué pour informer le patient qu'il peut utiliser le stylo à insuline pour injecter de l'insuline.

IV.4.2.2 Test de performance

Le Tableau 1 montre une comparaison entre la taille des messages utilisés par *tinyUPnP* et ceux utilisés par *UPnP* (tel que n représente le nombre d'arguments).

Tableau 1. Comparaison entre la taille des messages de *tinyUPnP* et ceux de *UPnP*

Message	<i>tinyUPnP</i>	<i>UPnP</i>	Taux de réduction (%)
Alive	31	119	73.95
Bye-bye	24	74	67.57
Search	26	79	67.09
Search response	21	85	75.29
Subscribe	10	62	83.87
Subscribe confirmation	18	47	61.70
Renew subscription	17	41	58.54
Unsubscribe	12	33	63.64
Unsubscribe confirmation	7	15	53.33
Event message	$47+n*5$	$251+n*5$	81.27
Invoke action	$52+n*5$	$352+n*5$	85.23
Reply message	$48+n*5$	$365+n*5$	86.85
Error message	63	571	88.97

Cette comparaison ne prend en compte que les données de contrôle. Il est clair que le taux de réduction est élevé ; en particulier pour les messages les plus utilisés :

- 81.27% pour les messages de notification des événements,
- 85.23% pour les messages d'invocation des actions, 86.85% pour les messages des réponses et « *Bye-bye* »,
- 88.97% pour les messages d'erreur.

IV.4.3 Comparaison et discussion

Comme l'illustre le Tableau 2 ci-dessous, la solution proposée respecte un ensemble plus vaste de recommandations listées dans le chapitre précédent (générique, extensibilité, optimisation de ressources, déploiement, interopérabilité, fiabilité, lisibilité et standardisation) par rapport au protocole *UPnP* et *CoAP/EXI*.

Il est à noter que *tinyUPnP* offre plus d'avantages que *CoAP* et *EXI*, sauf que ces deux derniers sont normalisés contrairement à *tinyUPnP*. En revanche, ce dernier critère n'a pas de grande influence sur l'utilisabilité de *tinyUPnP*. De plus, les messages de ce middleware sont mieux lisibles par rapport aux protocoles à base de messages binaires (*CoAP* et *EXI*).

Par contre, *UPnP* offre deux avantages par rapport à *tinyUPnP* : (i) *UPnP* est normalisé, (ii) les messages de *UPnP* sont plus faciles à lire par l'être humain. De l'autre côté, *tinyUPnP* offre plus de performance dans l'optimisation des ressources.

Dans le cas où *tinyUPnP* coexiste à domicile avec *UPnP* ou d'autres technologies (comme *Jini*), la présence d'un proxy est indispensable pour interconnecter les équipements à base de *tinyUPnP*. De plus, les messages de *tinyUPnP* sont plus difficiles à interpréter par rapport à *UPnP* vu qu'ils sont codés en utilisant des caractères déduits des messages *UPnP*.

De ce fait, *tinyUPnP* offre des avantages majeurs tels que la généricité, l'extensibilité, le déploiement facile, l'interopérabilité, la fiabilité et principalement l'optimisation de ressources. Par contre, *tinyUPnP* souffre de quelques inconvénients mineurs : *tinyUPnP* n'est pas standardisé et il est plus difficile à lire par rapport à *UPnP*.

Tableau 2. Comparaison du *tinyUPnP* avec d'autres solutions

Critères	<i>tinyUPnP</i>	<i>UPnP</i>	<i>CoAP/EXI</i>
Généricité	Oui	Oui	Non
Extensibilité	Oui	Oui	Non
Optimisation de ressources	Oui	Non	Oui
Déploiement	Facile	Facile	Pas difficile
Interopérabilité	Oui	Oui	Oui
Fiabilité	Oui	Oui	Oui
Lisibilité	Pas difficile	Oui	Non
Standardisation	Non	Oui	Oui

IV.5 Interaction habitant-maison intelligente

Toute personne peut sauver la vie des autres, même si elle a des capacités limitées. Les questions qui peuvent se poser sont les suivantes : *Comment le système domotique peut informer la personne de l'aide à donner ?* Autrement dit, *comment le système domotique peut communiquer avec une personne dépendante ayant des limites de communication ?* Pour faire face à cette problématique, cette section propose un nouveau concept « *Identité relative à base du contexte* » afin de permettre une communication naturelle entre l'habitant et la maison intelligente.

L'identité est un ensemble d'informations permettant d'identifier une entité quelconque (personne ou objet [229]) de manière unique. La gestion des identités est un ensemble d'opérations pouvant être appliquées aux identités, telles que la définition, la vérification, la création, la suppression, la modification, etc. [230].

Les informations caractérisant une entité représentent le profil d'une telle entité [231]. Une entité peut être un objet ou une personne. En général, les objets sont caractérisés par des informations physiques comme la taille, le poids, la couleur, etc. Cependant, les personnes peuvent être

caractérisées par des informations démographiques telles que l'âge et la race. La modélisation des profils consiste en l'organisation de ces données pour qu'elles soient compréhensibles et traitables par les ordinateurs [232]. D'une part, les informations décrivant les situations d'une entité représentent le contexte d'une telle entité [233]. D'autre part, le contexte peut être défini comme le changement de valeurs de profil. En général, le contexte peut être construit en répondant aux cinq questions suivantes : « *qui ?* » pour l'identification de la personne, « *quoi ?* » pour l'identification de l'objet, « *quand ?* » pour l'identification du moment, « *où ?* » pour l'identification de l'emplacement et « *pourquoi ?* » pour l'identification de l'intention [234]. La sensibilité au contexte est la capacité d'une application ou d'un système à découvrir et à réagir aux changements du contexte [235].

Le changement du contexte peut être facilement capturé par les appareils portables tels que les smartphones et les tablettes. De nos jours, les appareils portables sont équipés de différents capteurs (GPS, caméra, microphone, accéléromètre, etc.) qui permettent d'acquérir les changements du contexte [236]. Ils sont également équipés de technologies de communication (Bluetooth, GSM, Wi-Fi, etc.) pour être connectés aux réseaux (Internet, réseaux privés, téléphonie, etc.) [237]. En outre, le prix de ces appareils ainsi que celui de l'abonnement aux services sont réduits de telle sorte que tout le monde peut acheter des appareils intelligents et profiter des services offerts.

IV.5.1 Concept de l'« *Identité relative* »

L'objectif de ce travail consiste à assister les personnes dépendantes en leur offrant de l'aide nécessaire dans leurs activités de la vie quotidienne. L'idée principale est d'utiliser un moyen de communication simple pour identifier les objets et les sujets dans le contexte environnant la personne assistée.

Ce nouveau concept d'identité relative, qui a été proposé dans [238], sert à l'identification des objets ou sujets uniquement dans un contexte bien défini. Cela implique que l'identité peut être modifiée avec le changement du contexte et de la personne pour laquelle les entités seront identifiées. Ainsi, l'identité ne sera pas universellement unique.

Comme l'illustre la Figure 3, le stylo rouge peut être identifié de plusieurs façons selon son contexte et à qui il sera identifié. Dans le cas de la Figure 3a, il peut être identifié comme « *le stylo* ». Dans le cas de la Figure 3b, il y a deux stylos ; donc, le stylo rouge peut être identifié par « *le stylo rouge* ». Dans le cas de la Figure 3c, il peut être identifié aussi par « *le stylo rouge* » ou « *le stylo mince* ».

Pour une personne qui ne peut pas voir les couleurs rouges, le stylo peut être identifié comme le « *stylo le plus long* » (cas de la Figure 3c). Pour une personne aveugle, le système peut utiliser un message vocal. En général, le système d'identité relative prend en considération le profil de la personne. En effet, il peut utiliser des messages textuels pour une personne capable de lire du texte, des messages vocaux pour une personne qui ne sait ou ne peut pas lire (personne aveugle) ou une image pour une personne sourde avec une flèche comme montré sur la Figure 3b. L'identification relative peut prendre en compte d'autres dimensions du profil de la personne telles que la langue parlée, le daltonisme, etc.

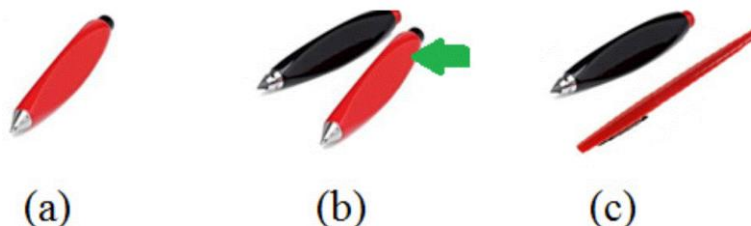


Figure 3. Identification relative d'un stylo rouge dans différents contextes.

- (a) le stylo est unique, (b) deux stylos avec la même forme mais l'un est rouge et l'autre est noir, (c) deux stylos avec différentes formes

IV.5.2 Architecture du système de gestion de l'identité relative

L'objectif de l'architecture d'identité relative est le développement d'un système de gestion pour identifier les personnes et les objets de manière simple. Comme l'illustre la Figure 4, cette architecture est composée des éléments suivants :

- *Gestionnaire des profils* : permet de mettre à jour la structure des profils et, par conséquent, la manière dont ils seront traités par le gestionnaire de contextes.
- *Base de données des profils* : contient les instances des profils actuels.
- *Fournisseur de contextes* : il est chargé d'acquérir des informations de l'environnement et de les transmettre au *Gestionnaire de contextes*.
- *Gestionnaire de contextes* : il traite les données reçues du fournisseur de contextes. Aussi, Il calcule les valeurs de profils et met à jour la base de données de profils. En outre, il détecte les anomalies et avertit le *Gestionnaire des profils*.
- *Gestionnaire d'identités* : son rôle principal consiste à traduire les notifications provenant du *Gestionnaire de contextes* dans un format compréhensible et traitable par la machine.

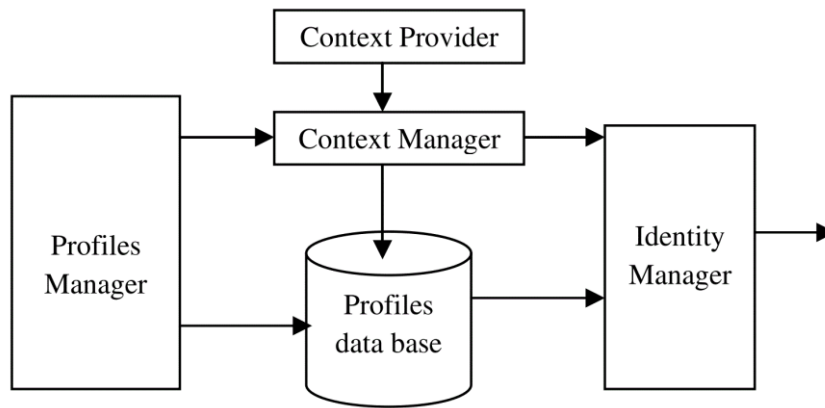


Figure 4. Architecture du système de gestion de l'identité relative

IV.5.3 Tests et résultats

Afin de tester cette solution, on propose le scénario suivant : Le système détecte que l'habitant (par exemple, le père) tombe dans un coma d'hypoglycémie et qu'il a besoin d'une injection de glucagon se trouvant dans le réfrigérateur. Ainsi, le système doit informer la personne la plus proche (par exemple, le fils ou la fille) de la situation et de ce qu'elle doit faire. Le système devrait envoyer un message en fonction du contexte actuel ; ce message pourrait être « *vous père a besoin d'une injection de glucagon qui se trouve dans le réfrigérateur ; votre père est dans la chambre à coucher* ».

Le message du système et le choix de l'intervenant le plus proche ou le plus approprié sont le résultat du traitement du contexte (c'est-à-dire, les réponses aux six questions discutées précédemment dans l'introduction). Dans ce scénario, les questions et réponses considérées sont les couples suivants :

- (« *qui est le sujet qui a besoin d'aide ?* », « *Identité universelle de la personne dans le coma de l'hypoglycémie* »).
- (« *qui est l'intervenant ?* », « *une personne disponible sur la base de profils* »).
- (« *qu'est-ce qui se passe ?* », « *une personne est dans le coma d'hypoglycémie* »).
- (« *où est la personne ?* », « *il est dans la chambre à coucher* »).
- (« *que doit faire l'intervenant ?* », « *injection de glucagon* »).
- (« *où est le glucagon ?* », « *il est dans le réfrigérateur* »).

Dans le cas où l'intervenant est aveugle et qu'il ne comprend pas l'anglais, le système doit utiliser la voix pour guider l'intervenant à fournir l'aide requise. Cependant, dans le cas où cet

assistant est sourd et ne peut pas lire les messages texte, le système doit utiliser une image comme illustré par la Figure 5.



Figure 5. Interprétation du message d'alerte en format d'image.

Le message interprété est : « *Votre père a besoin d'une injection de glucagon qui est dans le réfrigérateur, votre père est dans la chambre à coucher* ».

IV.5.4 Comparaison et discussion

Tableau 3 compare la solution proposée basée sur l'identité relative avec d'autres travaux de la littérature en termes de : modalité d'interaction (vocale, visuelle, etc.), sensibilité au contexte domestique, interaction naturelle, facilité de déploiement, fiabilité, prise en compte du profil des habitants (capacités intellectuelles, physiques, etc.).

Tableau 3. Comparaison de la solution à base de l'identité relative avec d'autres solutions de l'état de l'art.

	Solution proposée	[105]	[106]	[107]	[108]	[109]	[110]
Modalité d'interaction	Toutes	Gestes	Vocale	Paramètres physiologiques	Vocale	Vocale	Bio-signal
Sensibilité au contexte domestique	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Interaction naturelle	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	-	Non
Facilité de déploiement	Pas difficile	Pas difficile	Pas cher	Pas facile	Pas facile	Cher	Pas facile
Fiabilité	Fiable	Pas 100%	Insuffisante	Faible	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante
Prise en compte du profil des habitants	Capacité de communication de l'intervenant	Non	Non	Non	Non	Configuration manuel	Comportement

D'un côté, la plupart des travaux de la littérature ne prennent en considération qu'un sous-ensemble de critères de comparaison précédents. D'autant plus, ces travaux ne concernant que certaines modalités d'interaction avec les habitants. Ceci peut être justifié par le fait que les auteurs de ces travaux tentent à impliquer davantage les habitants dans la communication afin de faciliter la tâche d'interprétation au système domotique et faciliter son implémentation. Malheureusement, ces solutions ne peuvent pas fonctionner parfaitement dans des environnements avec des habitants souffrant de difficultés de communication.

De l'autre côté, la solution proposée basée sur *l'identité relative est fondée sur l'idée de faciliter la tâche de communication avec l'ensemble des habitants (ordinaires ou avec des difficultés de communication)*. À cet effet, cette solution exploite le contexte domestique et les profils des habitants pour rendre l'interaction la plus naturelle possible principalement avec ceux ayant des difficultés de communication. Dans le cadre de ce travail, l'accent a été mis sur la communication du système domotique avec l'habitant vu que le sens inverse (c.-à-d., la communication de l'habitant avec le système) a fait l'objet de plusieurs travaux de la littérature.

L'exemple illustratif de la Figure 5 montre la facilité d'implémentation de la solution proposée. En effet, elle prend en entrée le message à transmettre à l'habitant, le profil de l'habitant et le contexte ; par la suite, une translation fiable du message dans une modalité compréhensible par l'habitant se fera systématiquement.

IV.6 Sécurité des environnements domotiques pour l'e-santé

Sachant que l'environnement domestique proposé se base sur des technologies Web, principalement le *WebRTC* pour le contrôle à distance, la sécurisation d'un tel système doit faire face aux soucis suivants : la protection des données transmises sur internet, la gestion des droits d'accès, la traçabilité, et finalement la protection des serveurs accessibles via Internet.

IV.6.1 Mécanismes de sécurité

Pour sécuriser la communication, *HTTPS* est utilisé entre l'application Web et le serveur Web. De plus, *WebSocket sécurisé* est utilisé pour protéger les messages entre l'application Web et le serveur de signalisation. Enfin, des mots de passe sont utilisés pour authentifier les utilisateurs du système.

Le mécanisme *CRBAC* est adopté pour protéger les données des habitants. L'idée principale est de ne donner accès à ces informations qu'aux personnes autorisées uniquement lorsque cela est nécessaire. Les règles *CRBAC* sont définies de manière simple et compréhensible par l'habitant. Elles sont constituées de sept dimensions : (i) *identifiant de l'intervenant*, (ii) *identifiant de l'habitant*, (iii) *identifiant de l'emplacement* (cuisine, salle de bain), (iv) *temps*, (v) *variable d'état*, (vi) *niveau d'alerte* et (vii) *niveau d'accès*. De plus, trois types de niveaux d'accès sont définis pour chaque information :

- *Pas d'accès* : cela signifie que l'intervenant n'a pas le droit de lire ou de modifier la valeur de l'information concernée.
- *Accès en lecture seule* : l'intervenant peut lire la valeur de l'information concernée, mais il n'a pas le droit de la modifier.
- *Accès en lecture/écriture* : cela signifie que l'intervenant a le droit de savoir et de modifier la valeur de l'information concernée.

Le quatrième élément de sécurité est lié à la traçabilité. Ce point est très important pour suivre l'historique de toutes les actions réalisées par chaque intervenant. Le système proposé enregistre toutes les informations sur les interactions à distance avec les appareils domestiques et les habitants dans un ensemble de fichiers journaux.

Enfin, pour sécuriser le *HEMS*, il est recommandé que tous les serveurs concernés par la plateforme (*Web*, *Signalisation*, *STUN* et *TURN*) soient protégés. En effet, à partir de ces serveurs, une quantité importante d'informations peut être récupérée concernant les intervenants, le réseau domestique et les habitants. Plus précisément :

- *Serveur Web* : on peut obtenir des informations sur la situation d'urgence en analysant l'application Web.
- *Serveurs STUN et Serveurs de Signalisation* : on peut obtenir des informations sur les adresses privées et publiques de la passerelle domestique et sur les appareils de l'intervenant. Ainsi, on peut localiser, par exemple, l'intervenant.

- *Serveur de signalisation* : on peut récupérer les informations circulant sur tous les canaux *WebRTC* établis entre la passerelle domestique et les intervenants.
- *Serveur TURN* : on peut intercepter toutes les données échangées entre l'application Web et la passerelle domestique.

Par conséquent, les serveurs publics doivent être installés dans une zone protégée telle qu'un centre médical protégé (par exemple, un établissement à accès restreint). Il est également recommandé de crypter toutes les données échangées et transmises sur ces serveurs.

IV.6.2 Comparaisons et discussions

Tableau 4 compare la solution proposée avec d'autres travaux proposant des mécanismes de protection des données des habitants et de contrôle d'accès aux services domestiques. La comparaison est réalisée par rapport aux critères liés à la sécurité tels que l'authentification, le chiffrement, le contrôle d'accès et la traçabilité ; et d'autres critères liés à la mise en œuvre tels que la standardisation, la compréhension par les non spécialistes (généralement, les habitants), la facilité de déploiement et la fiabilité.

La plupart des solutions propose des mécanismes d'authentification, de cryptage de données qui sont largement déployés dans différents secteurs. En outre, leur mise en œuvre et déploiement ne sont pas généralement compliqués (déploiement sans nécessité d'adaptation aux problèmes de l'e-santé). Les techniques d'authentification des habitants vont de l'utilisation de mots de passe à la biométrie en passant par l'utilisation du *MAC* ou *autorité d'auto-certification* pour l'authentification appareil/système. D'autres solutions plus complexes utilisent la combinaison de plusieurs techniques. Par contre, moins de solutions s'intéressent au contrôle d'accès ; car, ces solutions nécessitent une personnalisation et adaptation pour chaque cas d'utilisation.

Tableau 4. Comparaison de la solution proposée avec celles de l'état de l'art.

	Solution proposée	[83]	[84]	[88]	[90]	[91]	[92]
Authentification	Mot de passe	Autorité d'auto-certification	Code d'authentification de message	Biométrie, Mot de passe, Carte chaotique	Biométrie	Biométrie, Mot de passe, Carte à puce	-
Chiffrement	SSL/DTLS/SRTP	SSL	Cryptographie basée sur le chaos	Oui	Courbe elliptique	-	-
Contrôle d'accès	Contextuelles RBAC	Non	Non	Non	Non	-	RBAC
Traçabilité	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Standardisation	Oui	Non	Non	Non	-	-	Non
Compréhension	Oui	Non	Non	Non	Non	-	Non
Déploiement facile	Oui	Oui	-	Non	Non	-	Non
Fiabilité	-	Oui	-	Oui	Oui	-	-

La complexité et l'absence de normalisation (solutions qui ne sont pas largement adoptées) des solutions discutées pour la sécurisation et la protection de données et de la vie privée des habitants influencent négativement sur la mise en œuvre. Pour cette raison, la solution proposée est basée sur de protocoles normalisés. Elle propose également une manière simple de définition et mise en œuvre de règles d'accès tout en ayant la possibilité d'impliquer des habitants dans ce processus. De plus, cette solution prend en considération la traçabilité de tous les accès de l'extérieur de la maison, un élément qui est ignoré par la plupart des travaux antérieurs.

Une autre amélioration par rapport aux autres travaux utilisant le *WebRTC* et qui n'est pas illustrée dans le Tableau 4, consiste à analyser les risques d'accès non autorisés aux serveurs publics du *WebRTC* (*Web*, *Signalisation*, *STUN*, et *TURN*) sur les données et les vies privées des habitants.

En effet, la solution proposée exige l'utilisation des serveurs dédiés à la plateforme de monitoring à distance et de les installer dans un établissement de confiance.

IV.7 Conclusion

Ce chapitre a décrit un environnement domotique pour l'e-santé qui consiste en un système de gestion de situations d'urgence à domicile. Afin qu'il soit efficace, ce système doit garantir un ensemble de fonctionnalités telles que la gestion de services, la communication interservices et inter-appareils, le contrôle et monitoring à distance, l'interaction avec les habitants, ainsi que la sécurité et la préservation de la vie privée des habitants. Ce système doit en outre prendre en considération les critères listés dans le chapitre 3 section III.7.2, principalement, la généricité de la solution, la possibilité d'accès à distance, l'interopérabilité, la sécurisation, le respect et la préservation de la vie privée.

L'architecture du système se compose d'un ensemble d'appareils pour fournir les services de base, une passerelle domestique pour le contrôle automatique de ces appareils et services, et une application Web pour le contrôle à distance. L'accès à l'environnement domestique via le Web nécessite la mise en œuvre de plusieurs serveurs : *Web*, *Signalisation*, *STUN* et *TURN*. L'architecture de la passerelle domestique a été détaillée car elle est l'élément le plus complexe.

Les principales contributions de ce chapitre peuvent se résumer comme suit : (i) la proposition d'un nouveau middleware appelé *tinyUPnP* pour la communication entre les services, (ii) la proposition d'une approche basée sur l'identité relative pour faciliter l'interaction entre les habitants et l'environnement domotique, et enfin (iii) l'utilisation de règles de contrôle d'accès à base du contexte pour préserver l'intimité des habitants.

Concernant les deux aspects « *gestion automatique des services domestiques* » et « *contrôle à distance* », un chapitre sera consacré à chacun :

- La gestion automatique et la composition des services domestiques en utilisant les *FSM* feront l'objet du cinquième chapitre,
- Le contrôle et la surveillance à distance à base du *WebRTC* feront l'objet du sixième chapitre.

Chapitre V : Gestion de situations d'urgence à domicile à base de FSM

V.1 Introduction

De nos jours, il est possible de rendre les maisons intelligentes par l'installation de réseaux domestiques. En d'autres termes, il s'agit d'intégrer des capteurs intelligents, des actionneurs et une passerelle domestique à la maison.

La difficulté de contrôler manuellement ce type de maisons est proportionnelle au nombre d'éléments installés, surtout pour les personnes dépendantes. Une solution intelligente pour automatiser la gestion d'appareils existants est donc fortement recommandée.

Les comportements humains peuvent être exprimés dans un langage naturel et résumés dans les catégories « être », « avoir » et « faire » qui sont abstraits et décrits par la « *logique mathématique* », la « *théorie des ensembles* » et l'« *algèbre de processus* », respectivement [239]. Par conséquent, ce chapitre décrit un nouveau formalisme, proposé dans [222, 240], associant les *FSM* standards, la logique mathématique et la théorie des ensembles. De plus, le chapitre présente une méthodologie pour traduire les opérations de l'algèbre de processus en *FSM* basée sur la théorie des ensembles. Afin de faciliter la conception du processus de gestion des urgences, un ensemble réduit d'opérations est adopté : $\{\wedge\}$ pour la logique mathématique, $\{\in\}$ pour la théorie des ensembles et les opérations *BPEL* [241] pour l'algèbre de processus.

Le choix de l'utilisation des *FSM* pour définir le comportement du système de santé à domicile est justifié par la possibilité de prendre en considération le passé lors de la phase de conception par rapport aux autres techniques étudiées dans l'état de l'art (principalement celles à base de règles). Ainsi, l'avantage majeur du *FSM* revient à la disposition d'une mémoire implicite permettant de considérer l'historique dans le processus de prise de décision.

Par conséquent, le *HEMS* proposé peut invoquer différents services pour la même situation d'urgence observée. Cela signifie que si le service n'a pas pu résoudre une situation, le système invoquera d'autres services capables de gérer différemment cette situation.

V.2 Gestion des situations d'urgence

Automatiser la gestion des situations d'urgence à domicile nécessite l'obtention des reconnaissances en temps réel sur le contexte de la maison. Ce dernier se compose de valeurs actuelles de nombreux attributs de l'environnement domestique englobant : l'état de santé des patients, les signes vitaux de l'habitant, la situation des habitants, les préférences des habitants, les objets de la maison, etc. Les valeurs de contextes sont récupérées de deux manières :

- Soit automatiquement en utilisant des capteurs adéquats (thermomètre, etc.),
- Soit par l'intervention des habitants principalement pour des valeurs subjectives (niveau de douleur, fatigue, etc.) en répondant à des questionnaires, par exemple.

D'autres sources de données sont nécessaires au système de soins de santé, comme les bases de données et le DME.

V.2.1 Contexte

La plupart des valeurs du contexte sont représentées dans des ensembles ou des intervalles. Dans ce travail, on suppose que les valeurs possibles de chaque attribut du contexte peuvent être représentées par des ensembles de valeurs, soit ordonnés ou non ordonnés ; à titre d'exemple :

- *Informations environnementales* : par exemple, la température et l'humidité. Pour les paramètres environnementaux, l'OMS impose des capteurs avec une précision de 0.5°C pour la température et de 5% pour l'humidité [242]. Généralement, la température de la maison varie entre 4° C et 40° C (ce qui représente 80 valeurs possible).
- *Signes vitaux de l'habitant* : il existe de nombreux signes vitaux qui peuvent être mesurés en permanence par des dispositifs adéquats, en particulier pour les personnes malades. Les signes vitaux normalisés sont la température du corps, la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, la pression artérielle, la douleur, le niveau de glucose sanguin, etc. Tous les signes vitaux y compris les paramètres subjectifs (dont la quantification dépend de la personne) peuvent être exprimés en valeurs scalaires. Par exemple, le degré de la douleur, qui est un paramètre subjectif, peut prendre une valeur entre 1 et 11 points [243].
- *Profil du patient* : le profil comprend l'âge, le poids, la taille, etc. Généralement, l'âge varie entre 0 et 150 ans. Il est divisé en intervalles ; chacun a des propriétés spéciales. Par exemple, l'âge entre 0 et 2 ans est mesuré en mois.
- *État de santé* : principalement, c'est la présence ou l'absence de maladies ou de symptômes tels que la fièvre, la grippe et la grossesse. Certains syndromes sont subjectifs comme la fatigue (ou avoir du mal dans une partie du corps). Les emplacements possibles de la douleur sont très importants ; ils peuvent être représentés dans l'ensemble du corps.
- *Préférences des habitants* : généralement, chaque habitant a des préférences sur l'environnement domestique et la configuration des appareils. Par exemple, les préférences environnementales peuvent couvrir la température et le taux d'humidité préférés. Cependant, les préférences des appareils peuvent couvrir le contenu multimédia diffusé à la télévision, l'état des fenêtres (ouvertes ou fermées), etc.
- *États des habitants* : l'état de l'habitant change dans le temps. Les habitants peuvent dormir, se tenir debout, s'asseoir, etc.
- *État des appareils* : chaque appareil, doté d'une carte intelligente, dispose d'une liste de registres d'états. Chaque registre a une liste de valeurs possibles qui peuvent être discrètes telles que l'état d'une porte (ouverte, fermée, indéfinie) ou continue comme le degré d'ouverture de portes/fenêtres, niveau de la batterie, consommation d'énergie, etc.

Comme évoqué précédemment, les paramètres du contexte domestique les plus importants peuvent être représentés par un ensemble de valeurs (un ensemble discret ou un intervalle). En général, des valeurs sémantiques sont données pour les sous-ensembles des valeurs de paramètres du contexte. Par exemple, la température est considéré comme suit [244] :

- *Froide* : si elle est entre 14°C et 22°C, alors qu'à l'extérieur elle est dans l'intervalle [5°C, 20°C].
- *Confortable* : quand elle est dans l'intervalle [22°C, 26.5°C] et à l'extérieure est de 20°C.
- *Chaude* : lorsque la température interne est dans [26.5°C, 32°C] et à l'extérieure est dans l'intervalle [20°C, 35°C].

V.2.2 FSM à base de théories des ensembles

Ce travail utilise le FSM [245] pour gérer les situations d'urgence. Le FSM proposé utilise une mémoire implicite (c.-à-d., la capacité de considérer les états précédents) pour invoquer différents services équivalents et faire face à la même situation observée. Autrement dit, si un service donné n'arrive pas à résoudre une situation d'urgence, le FSM invoquera d'autres services qui peuvent résoudre cette urgence, mais différemment. Par exemple, si une situation d'hypoglycémie est

détectée, le système proposé avertira d'abord le patient de manger ; sinon, le système déclenchera des alertes avec des niveaux croissants (Figure 6).

L'objectif de l'utilisation du FSM est de sélectionner l'ensemble des actions à effectuer en fonction du contexte observé. La formalisation est inspirée de la *machine de Mealy* [245] et de la *machine d'état de UML* [246]. La principale différence entre cette modélisation et la *machine de Mealy* réside dans le fait que le FSM proposé génère des ensembles d'actions au lieu de générer des valeurs binaires.

À cet effet, le FSM proposé est un 6-tuple, $FSM = (\hat{Q}, \hat{T}, \hat{A}, \hat{E}, \hat{O}, \hat{C})$, où :

1. $\hat{Q} = \{q_1, \dots, q_i, \dots, q_Q\}$: ensemble de tous les états définis dans le FSM, dont $Q = |\hat{Q}|$.
2. $\hat{T} = \{t_{ijk} : i, j, k \in N, 1 \leq i, j \leq Q, 1 \leq k \leq K_{ij}\}$: l'ensemble de toutes les transitions possibles qui permettent au FSM de passer de n'importe quel état q_i à n'importe quel autre état q_j . K_{ij} est le nombre de toutes les transitions possibles entre q_i et q_j .
3. $\hat{A} = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_A\}$: ensemble de tous les attributs du contexte tels que la température, la glycémie, etc. Pour chaque attribut du contexte a_i , on définit un ensemble de valeurs possibles $\check{A}_i$. Cela peut inclure des valeurs discrètes ou des intervalles.
4. $\hat{E} = \{e_1, \dots, e_i, \dots, e_E\}$: ensemble de toutes les variables d'état étendues. Les variables étendues sont des variables internes utilisées dans l'algorithme appliqué par le FSM (par exemple, les compteurs de répétition, le temps d'attente, etc.). Pour chaque variable d'état étendue e_i , on définit l'ensemble de toutes les valeurs possibles $\check{E}_i$.
5. $\hat{O} = \{o_{ijk} : i, j, k \in N, 1 \leq i, j \leq Q, 1 \leq k \leq K_{ij}\}$: ensemble de tous les sous-ensembles d'actions qui pourraient être invoqués lorsque le FSM quitte un état. Lorsque le FSM passe à l'état q_j à partir de l'état q_i suivant la transition t_{ijk} , il doit invoquer toutes les actions listées dans le sous-ensemble o_{ijk} . K_{ij} est le nombre de toutes les transitions possibles entre q_i et q_j .
6. $\hat{C} = \{c_{ijk} : i, j, k \in N, 1 \leq i, j \leq Q, 1 \leq k \leq K_{ij}\}$: ensemble des conditions utilisées pour sélectionner les transitions correctes afin de passer d'un état à un autre. c_{ijk} est la $k^{ième}$ condition qui permet de quitter l'état q_i pour atteindre l'état q_j en suivant la transition t_{ijk} . Chaque condition est une conjonction de propositions atomiques ; chacune vérifie si un attribut a_i (ou une variable étendue e_i) du contexte appartient à un ensemble de valeurs possibles $\check{A}_{vijk}$ ou $\check{E}_{vijk}$. Chaque ensemble de valeurs possibles $\check{A}_{vijk}$ (ou $\check{E}_{vijk}$) dépend des attributs utilisés dans la condition c_{ijk} de la transition t_{ijk} (c.-à-d., la $k^{ième}$ transition de q_i à q_j). Bien sûr, comme défini précédemment : $\forall i, j, k: \check{A}_{vijk} \subseteq \check{A}_v$. Formellement, la condition c_{ijk} s'écrit sous la forme :

$$(\bigwedge_{v=1}^A (a_v \in \check{A}_{vijk})) \wedge (\bigwedge_{v=1}^E (e_v \in \check{E}_{vijk})) = true \quad (1)$$

V.2.3 Cas d'utilisation (gestion de l'urgence de diabétique à domicile)

La Figure 6 illustre le déploiement et le fonctionnement du FSM proposé. D'une part et comme le montre la Figure 6.a, le médecin commence par concevoir le FSM dans un format lisible par l'homme. La conception du FSM devrait se faire en fonction du diagnostic médical et des installations de la maison. Après cela, un technicien transforme le format lisible par l'homme en un fichier XML en tenant compte de la description des périphériques. Enfin, le technicien télécharge le fichier XML sur la passerelle domestique. D'autre part, comme montré par la Figure 6.b, l'échange de messages entre les différents composants de la maison intelligente suit les changements dans l'état du FSM. Notons qu'à tout moment, le médecin peut mettre à jour l'enchaînement des actions pour chaque situation, qui sera traduit au format XML est téléchargé sur la passerelle domestique.

À noter que chaque arc dans le diagramme du FSM est libellé par « conditions (c_{ijk})/ensemble d'actions (o_{ijk}) ». Aussi, l'existence de nombreuses étiquettes « condition/ensemble d'opérations »

sur le même arc signifie que l'arc présente plusieurs transitions, c.-à-d. une transition pour chaque « condition/action ».

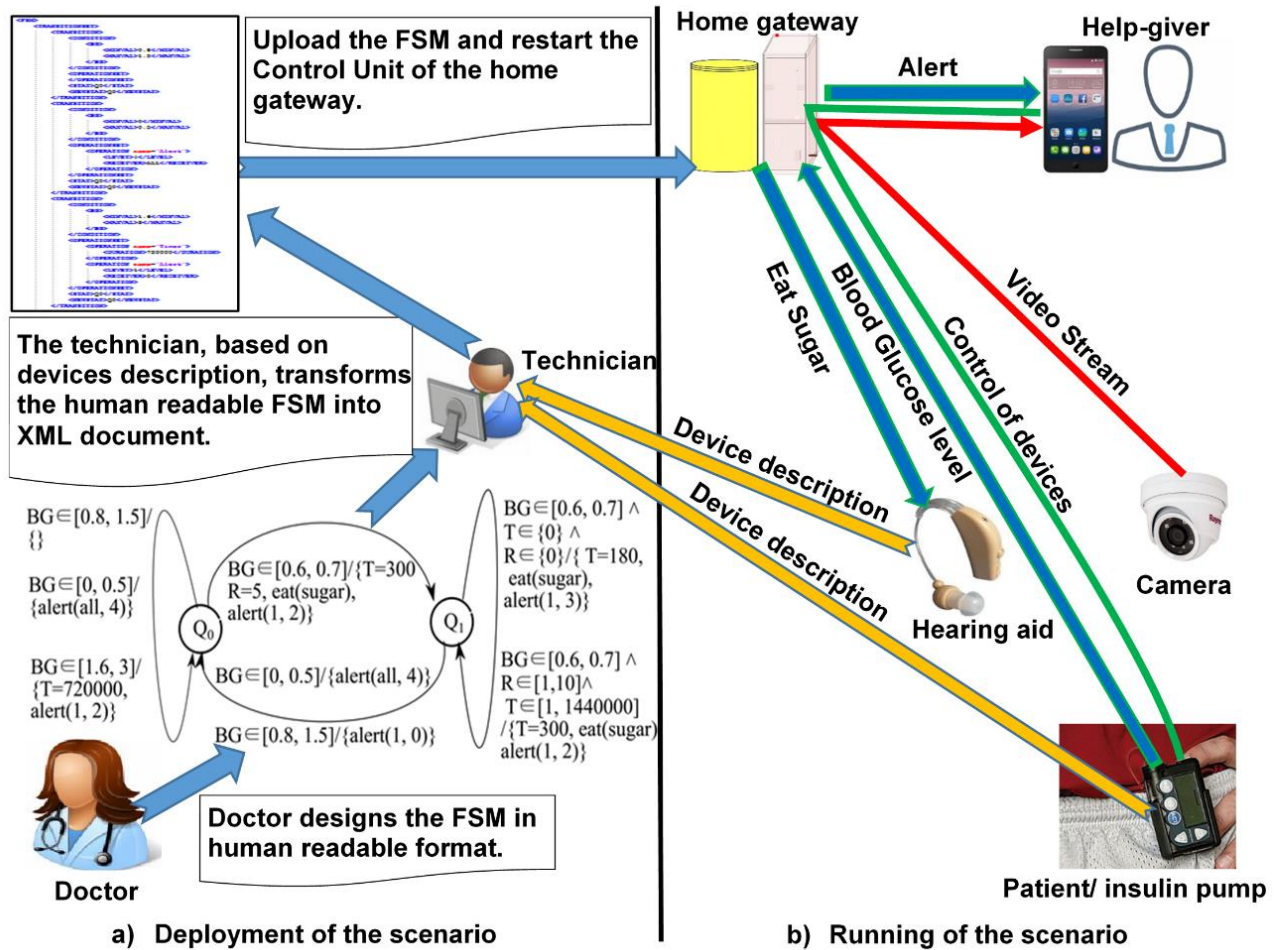


Figure 6. Le FSM proposé pour la gestion du diabète.

L'exemple d'illustration d'utilisation du FSM à base de la théorie des ensembles pour la gestion du diabète est décrit dans ce qui suit :

Plusieurs facteurs influent sur l'état de santé d'une personne diabétique. Cependant, pour des raisons de simplicité, seul un attribut de contexte, le niveau de *glucose sanguin* (BG), est considéré dans cet exemple. Pour identifier les niveaux de risque, les valeurs BG sont présentées sous forme d'intervalles : $[0,0, 0,5[$, $[0,5, 0,8[$, $[0,8, 1,5[$, $[1,5, 3,0[$ (les valeurs sont données en grammes par litre). On a aussi associé à chaque intervalle un niveau de risque et un ensemble d'actions à effectuer. Cinq niveaux de risque sont définis :

- Le niveau 0 est défini pour une situation normale ; dans certains cas, le système devrait informer l'intervenant qu'il n'y a pas de risque.
- Le niveau 1 est utilisé pour demander de l'aide ou pour prévenir d'une situation d'urgence.
- Le niveau 2 indique que la situation est gérable par un non-spécialiste.
- Le niveau 3 notifie une situation d'urgence nécessitant l'intervention d'un professionnel de la santé.
- Enfin, le niveau 4 est défini pour signaler une situation d'urgence extrême.

Le FSM présenté utilise les deux variables d'état étendues R et T . La variable R est utilisée pour indiquer combien de fois la passerelle domestique fait appel au même ensemble d'actions dans les mêmes conditions. La variable T , quant à elle, indique combien de temps la passerelle doit attendre

avant de passer au prochain état. Aussi, deux actions $eat()$ et $alert()$ sont utilisées. L'action $eat()$ est utilisée pour informer le diabétique qu'il devrait manger du sucre pour élever le BG. Cependant, l'action $alert()$ est utilisée pour informer les intervenants qu'il y a une situation anormale. Le premier argument de l'action $alert()$ est l'identifiant de l'intervenant (la valeur all signifie tous les intervenants disponibles liés à la personne confrontée à une situation anormale), alors que le deuxième argument est le niveau d'alerte.

Pour prendre en compte d'autres types d'urgences telles que l'hypertension, le FSM devrait simplement être étendu aux nouveaux états, conditions et actions requis. La conception des instances FSM devrait être guidée par des professionnels de la santé en fonction de leurs expertises techniques et de leurs directives cliniques.

V.3 Propriétés du FSM proposé

Cette section identifie les différentes propriétés qui doivent être respectées lors de la conception du FSM. Celles-ci incluent entre autres la complétude, le déterminisme et la connectivité des états [247]. Pour chaque propriété, un algorithme de vérification pourrait être proposé ; par exemple, pour vérifier les propriétés de complétude et de déterminisme, on utilise la théorie des ensembles. Aussi, pour vérifier l'état de la connectivité, on utilise la théorie des graphes.

V.3.1 Chemins et cycles

Un chemin est l'ensemble d'éléments successifs (états, conditions, transitions ou ensembles d'opérations) qui permettent de passer d'un état à un autre. Si un chemin qui mène de l'état q_i à l'état q_j est composé des éléments $y_0, y_1, \dots, y_Y$, il est noté $q \xrightarrow{y_0, y_1, \dots, y_Y} q_j$.

- 1) *Chemin des conditions* : ensemble de conditions successives qui doivent être vérifiées pour passer d'un état à un autre. Il est noté $q_i \xrightarrow{(a_0, e_0), (a_1, e_1), \dots, (a_Y, e_Y)} q_j$ tel que (a_i, e_i) représente les valeurs des attributs du contexte et des variables étendues utilisées pour évaluer les conditions C_i .
- 2) *Chemins d'opération* : ensemble des sous-ensembles d'opérations qui sont appliquées successivement lors de passage d'un état à un autre.
- 3) *Chemin d'états* : ensemble d'états parcourus successivement qui permet de passer d'un état à un autre.
- 4) *Chemin des transitions* : ensemble des transitions successives qui permettent de passer d'un état à un autre.

Le nombre de chemins de conditions est le même que celui des chemins des transitions. En effet, pour chaque transition, il existe une et une seule condition à vérifier. Cependant, le nombre de chemins d'opérations peut être inférieur aux chemins d'états ; dans ce cas, il est possible de suivre plusieurs chemins différents d'états et d'effectuer la même séquence d'opérations (Figure 7).

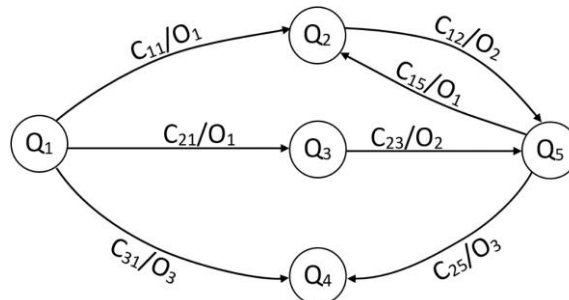


Figure 7. Exemple de FSM pour illustrer la différence entre les chemins.

Dans cet exemple, pour passer de q_1 à q_5 , il existe deux chemins de conditions possibles : le chemin $C_{11} \rightarrow C_{12}$ et le chemin $C_{21} \rightarrow C_{23}$. En effet, les chemins d'états possibles sont $q_1 \rightarrow q_2 \rightarrow q_5$ et $q_1 \rightarrow q_3 \rightarrow q_5$; mais, il n'existe qu'un seul chemin d'opérations $o_1 \rightarrow o_2$.

Un cycle est un chemin qui mène d'un état pour atteindre le même état. Un cycle optimal est celui où le coût de l'opération effectuée est minimum. Le coût peut être mesuré en termes de consommation d'énergie, temps, nombre d'opérations exécutées, consommation de puissance de calcul, etc.

V.3.2 Complétude

Un FSM complet signifie que pour toute valeur du contexte ou de variable d'état étendue, il existe au moins une décision à prendre. C'est-à-dire, un FSM est complet si et seulement si tous ses états sont complets. Un état est complet si pour toutes les valeurs du contexte et des variables étendues, il existe au moins une transition quittant cet état. Formellement :

$$\forall q_i \in \hat{Q}, \exists q_j \in \hat{Q}, \exists k \in N: c_{ijk} = true \quad (2)$$

V.3.3 Déterminisme

Un FSM est déterministe signifie que pour toute valeur du contexte, il n'existe qu'une seule décision à prendre. Un FSM est déterministe si et seulement si tous ces états sont déterministes. Un état est déterministe signifie que quelles que soit les valeurs des attributs du contexte et des variables étendues, il n'existe qu'une seule transition quittant cet état. Formellement :

$$\forall (c_{ijk}, c_{ijl}) \in \hat{C}^2: (c_{ijk} = true) \wedge (c_{ijl} = true) \Rightarrow k = l \quad (3)$$

V.3.4 Connectivité

Un FSM est connecté signifie qu'il y a toujours une possibilité de passer de n'importe quel état à n'importe quel autre état. En d'autres termes, un FSM est connecté si et seulement si chaque état est accessible depuis n'importe quel autre état. Formellement :

$$\forall (q_i, q_j) \in \hat{Q}^2 \exists (t_0, t_1 \dots t_n) \in \hat{T}^n; q_i \xrightarrow{t_0, t_1 \dots t_n} q_j \quad (4)$$

V.3.5 Passibilité des conditions

Une condition est passable s'il existe au moins une valeur pour chaque variable d'état et une valeur pour chaque attribut du contexte qui rend la valeur de cette condition vraie. Formellement :

$$\forall c \in \hat{C}, \exists v \in (\prod_{i=1}^A \check{A}_i) \cdot (\prod_{i=1}^E \check{E}_i): c = true \quad (5)$$

Une transition avec une condition qui n'est pas passable est une transition redondante.

V.3.6 Vérification

La vérification ou la correspondance est le processus permettant de choisir quelle transition doit être prise pour quitter l'état actuel. Le choix se fait en fonction du contexte actuel et des valeurs des variables étendues. Les transitions sont vérifiées une par une ; la transition avec la valeur de condition « vraie » est sélectionnée (la valeur de chaque attribut du contexte et de chaque variable étendue est inclus dans le sous-ensemble des valeurs possibles correspondant dans la partie condition de la transition).

L'analyse des propriétés citées précédemment peut donner un aperçu sur le comportement du HEMS. Cette analyse permet également de détecter les éventuelles erreurs commises par le concepteur ; par exemple :

- Les chemins permettent d'identifier le chemin suivi lors de la résolution d'une situation anormale et de savoir s'il est optimal.

- Les cycles permettent de détecter s'il est possible de retourner à certains états (par exemple, l'état de situation normale).
- La complétude permet de s'assurer toujours de l'existence d'une décision à prendre pour toute situation possible rencontrée par le *HEMS*.
- Le déterminisme fait en sorte qu'à tout moment, il y ait une et une seule décision à prendre.
- La connectivité permet de détecter les états inaccessibles à cause d'une erreur de conception.
- La passabilité permet de s'assurer qu'il n'y a pas de transition inutile pour éviter toute confusion dans le FSM.

V.4 Algèbre des processus

L'Algèbre des processus est une modélisation formelle du comportement du processus [248]. Plusieurs langages sont proposés pour traiter l'algèbre des processus ; on cite en particulier *CSP* [249], *CCS* [250], *ACP* [251] et *LOTOS* [252].

Cette section décrit les opérations de processus les plus utilisées par le *FSM* proposé. Ces opérations sont déduites du langage *BPEL*. Le but étant d'ordonner l'exécution des opérations. En d'autres termes, indiquer les opérations qui doivent être effectuées dans une situation donnée ainsi que leur ordre adéquat.

V.4.1 Événement

On doit parfois réagir à la modification des valeurs de certains variables d'état ou paramètres du contexte. Ces variables et paramètres sont définis comme déclencheur du FSM. Ainsi, une condition de déclenchement (définie comme étant un ensemble de sous-ensembles de valeurs) est associée à chaque variable ou paramètre. Le FSM ne se déclenche par la variable d'état que si la valeur de cette variable ou du paramètre de contexte change de sous-ensemble.

Par exemple, pour la variable $V_{\{\{1,2,3\},\{4,5\},\{6,7\}\}}$, il existe trois sous-ensembles de valeurs possibles qui sont définis $\{1, 2, 3\}$, $\{4, 5\}$ et $\{6, 7\}$. Le FSM est déclenché par V uniquement si la nouvelle valeur de V n'appartient pas au même sous-ensemble que l'ancienne.

V.4.2 Ensemble Vide

Dans certains cas, on doit indiquer au *FSM* de ne rien faire ; on met ainsi un ensemble d'opérations vide sur la transition. Comme l'illustre la Figure 8.a, lorsque le FSM passe de l'état q_0 à l'état q_1 , il ne fait rien ; l'ensemble des opérations est un ensemble vide.

V.4.3 Attendre

Pour permettre au FSM d'attendre une durée prédéfinie, on utilise la variable étendue T comme déclencheur. La valeur de cette variable est décrémentée automatiquement (par exemple, chaque seconde) ; elle déclenche le FSM lorsque sa valeur atteint zéro. Comme il est illustré sur la Figure 8.b, lorsque le FSM atteint l'état q_1 , il attend 10 secondes avant de passer l'état suivant.

V.4.4 Gestion des exceptions

Le but principal du FSM proposé est de contrôler les dispositifs domestiques. Lorsque le FSM lance une opération, on n'est pas sûr d'assurer que cette opération soit effectuée avec succès. Par conséquent, le FSM doit permettre au concepteur de prendre connaissance du déroulement des opérations. Pour ce faire, chaque opération doit renvoyer une variable d'état. Ainsi, on définit trois valeurs pour cette variable :

- *RUNNING* : signifie que l'opération est en cours.
- *SUCCESS* : signifie que l'opération est terminée avec succès.
- *FAIL* : signifie que l'opération est terminée de manière inattendue avec une erreur.

Comme le montre la Figure 8.c, dans l'état q_1 , on effectue des tests sur la variable d'état s_1 qui contient l'état de l'opération o_1 . Si la valeur est *RUNNING*, on boucle localement sans rien faire (pour attendre que l'opération termine le travail). Autrement, si la valeur est *FAIL*, on passe au premier état de la partie du FSM qui contient les opérations de gestion de l'exception. Généralement, on peut définir d'autres valeurs d'état ; par exemple, une valeur d'état pour chaque erreur possible.

V.4.5 Séquence

Pour l'exécution séquentielle de certaines actions, on élabore une suite d'états et on affecte une opération dans chaque transition. Seule la première transition contient la partie de condition définie par le concepteur ; les autres transitions contiennent la partie de condition $\{SUCCESS_i\}$ (cela signifie que l'opération précédente est terminée avec succès). Chaque état intermédiaire a une transition qui boucle sur le même état avec la condition $\{RUNNING_i\}$ et avec un ensemble vide d'opérations. Comme le montre la Figure 8.d, si la condition c est satisfaite, le FSM lance l'opération o_1 et passe à l'état q_1 . Il boucle sur l'état q_1 sans rien faire jusqu'à ce que la variable d'état de l'opération o_1 prenne la valeur *SUCCESS* ; puis, il lance l'opération o_2 et passe à l'état qui suit q_2 et attend que l'opération o_2 se termine avec succès. Ceci est répété pour toutes les opérations qui doivent être exécutées séquentiellement jusqu'à l'opération o_{Y-1} .

V.4.6 Concurrency

Pour indiquer qu'un ensemble d'opérations doit être exécuté de manière concurrente, ces opérations sont toutes mises dans le même ensemble à l'intérieur de la partie opérations de la transition. Comme montré sur la Figure 8.e, toutes les opérations de l'ensemble $\{q_0, q_1, \dots, q_{Y-1}\}$ seront exécutées en parallèle.

V.4.7 Synchronisation

On peut synchroniser la fin de tout ou un sous-ensemble d'opérations en ajoutant une boucle locale. La partie de condition de la transition de boucle locale est de la forme $\bigvee_{i=0}^{Y-1} RUNNING_i$ et la partie opérations est un ensemble vide. Cela signifie que le FSM doit attendre (sans rien faire) jusqu'à ce que toutes les opérations terminent leur exécution. Le FSM quitte la boucle locale par une transition avec la condition $\bigwedge_{i=0}^{Y-1} \overline{RUNNING}_i$. Comme le montre la Figure 8.f, l'opération o_{10} ne sera pas exécutée avant la fin d'exécution de chacune des opérations $\{o_0, o_1, \dots, o_{Y-1}\}$.

V.4.8 Conditionnel

L'instruction *IF-ELSE* peut être utilisée dans le FSM par deux transactions émanant du même état. La partie condition d'une transition est la négation de la partie condition de l'autre transition. Dans une telle situation, il est sûr qu'il n'existe qu'une seule transition qui sera exécutée quels que soit le contexte et les valeurs des variables étendues. La Figure 8.g montre une partie d'un FSM où les deux opérations o_0 et o_1 ne seront jamais exécutées dans la même circonstance ; cependant, toujours une seule d'entre elles sera exécutée.

V.4.9 Aiguilleur

Parfois, il faut choisir entre plusieurs options. Dans un tel cas, une transition est définie pour chaque option. Pour garantir qu'une seule transition sera exécutée à la fois, le FSM doit être déterministe. Cependant, pour s'assurer qu'une transition sera toujours exécutée, le FSM doit être complet. Dans le cas contraire (le FSM n'est pas complet), il faut ajouter une transition avec une partie de condition de la forme de $\bigvee_{i=0}^{Y-1} \overline{c}_i$, où c_i est la partie condition de la transition t_i . Dans la partie opérations, on met l'ensemble des opérations qui seront exécutées par défaut. Dans l'exemple de la Figure 8.h, l'opération o_{Y-1} sera exécutée si aucune des conditions de l'ensemble $\{c_0, c_1, \dots, c_{Y-1}\}$ n'est satisfaite.

V.4.10 Répétition

Pour répéter la même séquence d'opérations plus d'une fois, on peut construire un cycle composé d'un ou plusieurs états. Pour éviter les boucles infinies, il faut ajouter une transition sortant de ce cycle. Cette dernière peut être soit (i) démarrer du premier état pour donner la possibilité de ne pas rentrer dans le cycle, soit (ii) démarrer du dernier état pour obliger le FSM d'entrer dans le cycle au moins une seule fois, soit (iii) démarrer d'un état quelconque pour permettre l'interruption du cycle. Comme le montre la Figure 8.i, la séquence d'actions $o_0, o_1, \dots, o_{Y-1}$ se répète jusqu'à ce que la condition c_{Y-1} ne soit pas vérifiée.

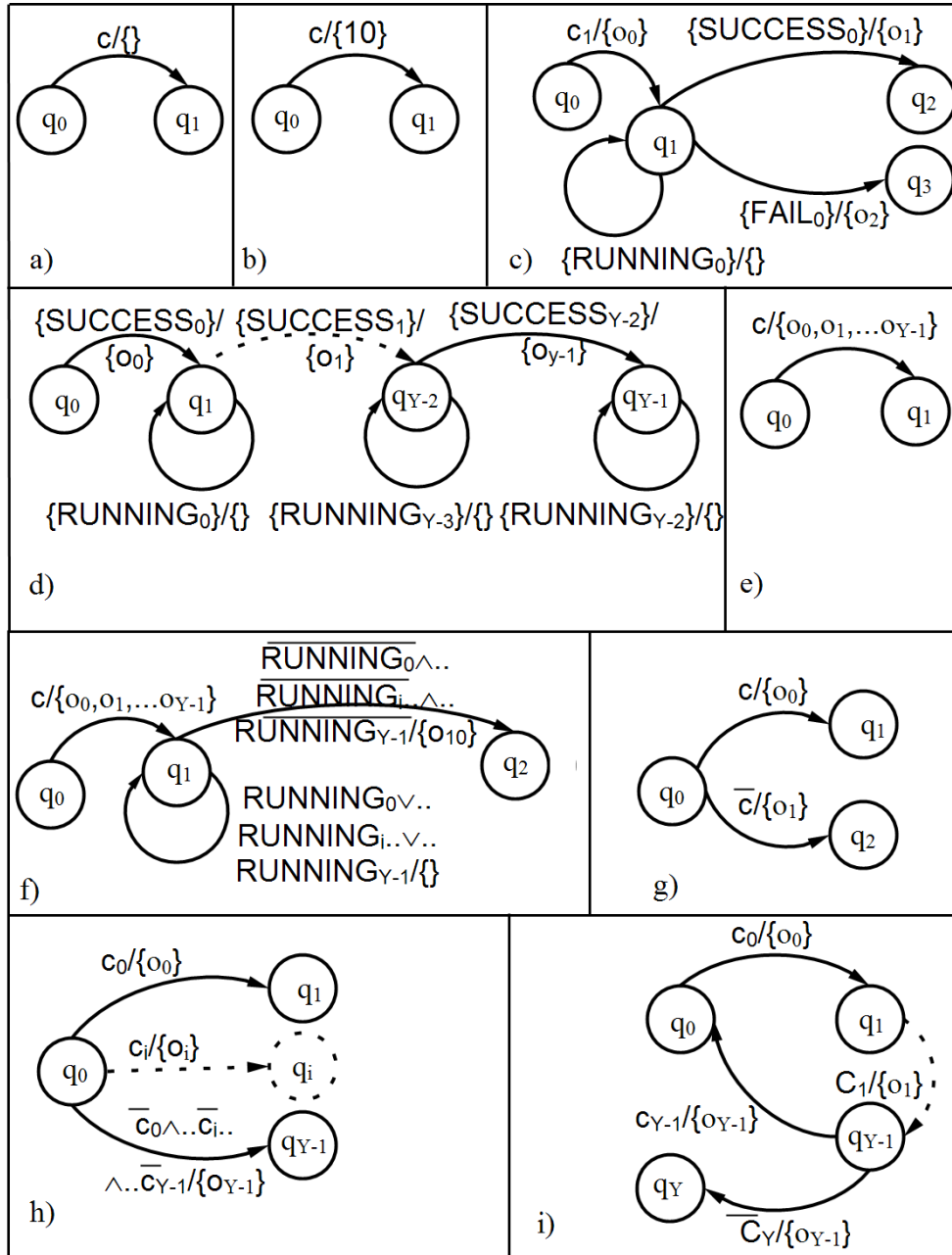


Figure 8. Algèbre de processus et FSM à base des théories des ensembles

V.5 Tests de validation et discussion des résultats

Cette section montre la faisabilité d'exploitation du FSM à base de la théorie des ensembles. De plus, elle évalue la scalabilité du FSM proposé :

- La première évaluation consiste à tester la scalabilité du FSM en termes de nombre d'états, de transitions par état, d'éléments par condition et d'opérations par transition.

- La seconde évaluation consiste en le test de scalabilité en termes de nombre d'actions parallèles (c.-à-d., le nombre d'actions à exécuter en même temps). Un processus est donc créé pour déclencher chaque action et évaluer le temps nécessaire pour créer tous les processus.

V.5.1 Plateforme de test

Le test de faisabilité et de scalabilité d'un FSM à base de théories des ensemble est effectué sur un ordinateurs HP (noyau i7, 16Go de RAM et 512Go de disque dur SSD avec Ubuntu 14.04 LTS) qui représente la passerelle domestique. Le FSM est implémenté en utilisant le langage Java.

V.5.2 Résultats de la scalabilité

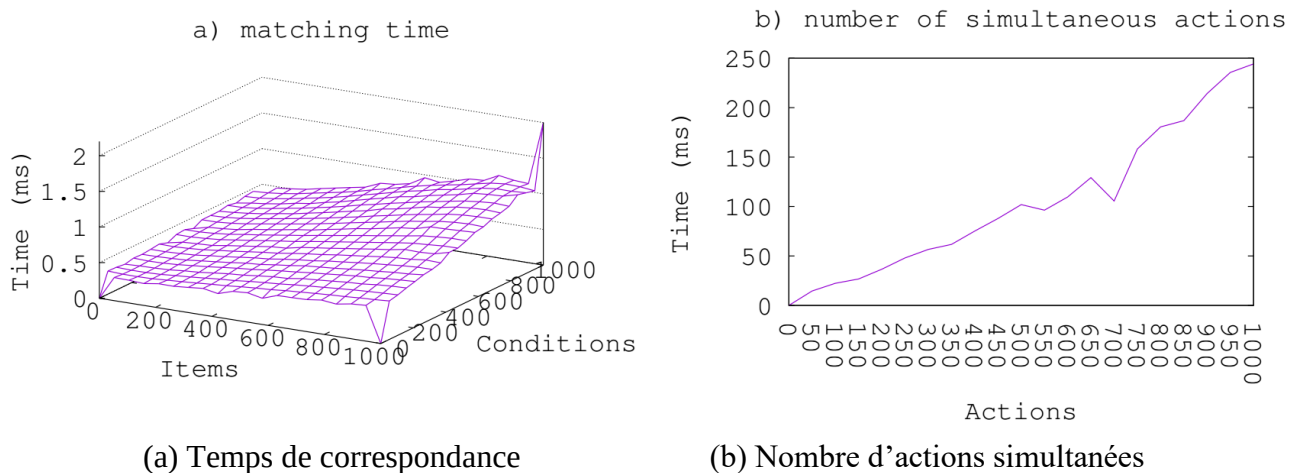
Les résultats obtenus illustrent que le FSM peut contenir jusqu'à 15 états différents pour 1000 transitions par état, 1000 items par condition, 100 actions par transition et 10 arguments par action. Si on réduit le nombre de transitions à 440 et les items par condition à 100 (en gardant 100 actions par transition et 10 arguments par action), le nombre d'états possibles devient 293, ce qui est plus que suffisant pour la gestion des urgences à domicile.

L'évaluation présentée par la (a) Temps de correspondance (b) Nombre d'actions simultanées

Figure 9.a se concentre sur le temps de correspondance du FSM proposé. On observe que le temps de vérification est inférieur à 2ms pour 1000 conditions et 1000 items par condition. Cela signifie que le processus de vérification présente une bonne scalabilité avec un délai minimum. La (a) Temps de correspondance (b) Nombre d'actions simultanées

Figure 9.b montre le temps requis pour déclencher des actions. Le système proposé est capable de déclencher 1000 actions en parallèles en 250ms.

Pour un FSM composé de 20 états, 20 transitions par état, 20 items par condition et 50 actions par transition, le temps de correspondance est inférieur à 0.1ms et le FSM peut invoquer toutes les opérations en moins de 15ms. Ces résultats sont jugés très intéressants.



(a) Temps de correspondance (b) Nombre d'actions simultanées

Figure 9. Scalabilité du HEMS proposé.

V.6 Comparaison et discussion

Cette section est dédiée à la comparaison de la solution proposée avec les techniques de gestion des services de santé à domicile, principalement celles qui définissent manuellement les mesures à prendre en cas de situations anormales. Comme l'illustre le Tableau 5, les solutions de l'état de l'art (chapitre III, section III.4) peuvent être :

1. *Implémentée en logiciel et/ou matériel* [194-197] pour gérer certaines situations spécifiques : Ces solutions souffrent de plusieurs inconvénients ; elles ne sont pas génériques, elles ne sont pas facilement extensibles (nécessitent la mise à jour des algorithmes), elles ne sont pas lisibles (difficiles à comprendre par les habitants), leurs mise en œuvre n'est pas facile (nécessitent des plateformes spécifiques), et leur maintenance peut être coûteuse.
2. *Basées sur les règles* [200] : ces solutions sont génériques, extensibles et faciles à comprendre par les habitants, leur mise en œuvre et mise à jour sont faciles. Par contre, elles ne sont pas flexibles et ne sont pas adaptables au raisonnement humain. De plus, ces solutions peuvent entraîner le système en boucle infinie.
3. *Basées sur les FSM* [204-208, 210-212] : ces solutions sont flexibles ; mais aucune ne prend en considération tous les critères d'évaluation (généricité, flexibilité, extensibilité, lisibilité, facilité de déploiement, fiabilité, hétérogénéité et raisonnement humain).

On remarque qu'aucune des solutions étudiées ne satisfait l'ensemble des critères de comparaison (Tableau 5). Cependant, la solution proposée prend en considération tous ces critères ce qui la rend plus efficace. Principalement, elle est adaptable aux différentes situations rencontrées à domicile par les habitants, elle est indépendante des plateformes logicielles et matérielles, et elle permet facilement l'implication des non-spécialistes en informatique dans la définition des processus de gestion.

Tableau 5. Comparaison de la solution proposée avec d'autres solutions de la littérature.

	Solution proposée	[194]	[195]	196, 197	[200]	[204]	[205]	[206]	[207]	[208]	[210]	[211]	[212]
Approche	FSM	Matériel	Soft	Soft	Règles	FSM	FSM	FSM	FSM	FSM	FSM	FSM	FSM
Généricité	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Flexibilité	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Extensibilité	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Lisibilité	Oui	-	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Facilité de déploiement	Oui	-	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	non	Oui	Non	Non	Oui
Fiabilité	Oui	-	Non	Non	Non		Oui	Oui	oui	-	-	-	Non
Hétérogénéité	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	non	Non	Non	Non	Non
Raisonnement humain	Oui	Non	Non	Non		Oui	Non	Non	non	Un peu	Oui	Non	Non

V.7 Conclusion

Ce chapitre a proposé une nouvelle approche de gestion des situations d'urgence à domicile. Cette approche est basée sur quatre concepts (i) *les FMS*, (ii) *la théorie des ensembles*, (iii) *la logique mathématique*, et (iv) *l'algèbre de processus*. Par conséquent, cette solution est proche du raisonnement humain ce qui la rend plus facile à déployer. Le chapitre a décrit également une manière facile d'implémentation des instructions de l'algèbre de processus, surtout celles définies par le *BPEL*. Afin de détecter les erreurs éventuelles de conception, le chapitre a défini un ensemble de propriétés ainsi que des algorithmes de vérification.

Les tests de validation effectués illustrent la faisabilité et l'usabilité de la solution proposée. Aussi, la comparaison avec les solutions existantes de l'état de l'art démontre l'efficacité et la supériorité de cette solution en termes de critères énumérés dans la chapitre III (généricité, flexibilité, extensibilité, lisibilité, facilité de déploiement, fiabilité, hétérogénéité, et raisonnement humain).

Le fait qu'il est impossible de proposer une solution totalement autonome pour la gestion des services de santé à domicile, il est indispensable d'intégrer des mécanismes d'intervention manuelle chaque fois que nécessaire. Par conséquent, le chapitre suivant sera consacré à la description d'une nouvelle approche de monitoring et de contrôles des environnements domotiques à distance.

Chapitre VI : Contrôle et surveillance à distance

VI.1 Introduction

Un système efficace de gestion de situations d'urgence à domicile (*HEMS*) doit fournir des connaissances sur la situation de l'habitant en temps réel. Ces connaissances peuvent être utilisées et partagées entre les différents intervenants.

Lorsque l'habitant est confronté à une situation d'urgence (chute, perte de conscience, etc.) qui nécessite l'intervention d'un intervenant, le HEMS devrait être en mesure d'assister l'intervenant dans sa tâche. Si ce dernier ne peut pas fournir l'aide requise, le HEMS devrait lui permettre d'informer les professionnels appropriés de la santé et de leur assurer les moyens d'accéder et d'interagir avec l'environnement de l'habitant. En effet, les HEMS devraient permettre aux intervenants distants de la santé d'obtenir les informations requises sur la situation de l'habitant. Ainsi, les intervenants peuvent apporter une aide directe à l'habitant ou fournir des instructions et des conseils à l'intervenant se trouvant à leur domicile. De plus, pour améliorer l'interopérabilité par rapport à l'hétérogénéité des plateformes existantes et appareils domestiques, on propose de tirer profit des technologies émergentes et principalement l'Internet et le Web.

L'IoT est un concept informatique qui permet aux objets et aux humains d'être connectés à Internet [253]. De plus, le concept de *WoT* [254] présente le cadre idéal permettant l'interaction avec des dispositifs domestiques en utilisant des applications Web avancées [255]. Ces concepts sont utilisés dans les applications d'e-santé telles que la surveillance des patients et la gestion des urgences. Pour avoir des performances élevées de tels systèmes de surveillance, des faibles valeurs de latence sont fortement recommandées [223].

Ce chapitre donne une attention particulière à l'assistance à distance avec des accès interopérables et omniprésents à l'environnement domotique. En conséquence, différents acteurs de la santé pourraient avoir une interaction efficace avec les habitants surveillés et leurs maisons de n'importe quel emplacement. Le fait de rendre les maisons intelligentes et communicantes permet de bénéficier de différents services de santé à distance tels que le diagnostic, le traitement et la prévention des accidents et des blessures à la maison.

Le reste de ce chapitre est organisé en quatre sections. La deuxième section décrit l'approche proposée pour le monitoring et le contrôle à distance des maisons intelligentes. La troisième section présente des cas d'utilisation de l'approche développée. La dernière section est dédiée aux tests de validation ainsi qu'à la discussion des principaux résultats obtenus.

VI.2 Communication avec la passerelle domestique de l'extérieur

Selon l'étude effectuée (Section III.6), *WebRTC* représente un excellent candidat pour répondre aux exigences listées précédemment (Section III.7.2). Jusqu'à présent, *WebRTC* est la technologie standard unique permettant l'échange audio-visuel et de données dans des canaux bidirectionnels sur le Web. Il permet de partager des flux vidéo et audio acquis de différentes sources. *WebRTC* assure également des conférences audio-visuelles Web-to-Web sans plug-in supplémentaire. Ainsi, pour des raisons d'interopérabilité et de facilité d'intégration, on va utiliser *WebRTC* pour fournir des services de soins à domicile et de surveillance à distance.

Le système domotique proposé permet de fournir une assistance à distance via une application Web basé sur le framework *WebRTC*. L'application Web peut être utilisée de n'importe quel emplacement et avec n'importe quel appareil et technologie d'accès. En outre, *WebRTC* permet l'utilisation de fonctionnalités avancées combinant des données et des flux multimédia (voix et vidéos) en temps réel avec la possibilité d'envoyer des commandes aux appareils domestiques et d'appliquer des actions sur l'espace surveillé.

VI.2.1 Fonctionnement du WebRTC

Cette section illustre comment établir une session *WebRTC* entre deux applications Web ou entre une application Web et la passerelle domestique (Figure 10.a).

L'établissement d'une session *WebRTC* entre l'application Web et la passerelle domestique est décrite comme suit : Tout d'abord, la passerelle domestique crée une connexion *WebRTC* ; puis, elle crée un flux multimédia (audio et/ou vidéo) et un canal de données (créé à partir de la connexion *WebRTC*) avec des paramètres spécifiques. Ensuite, le flux multimédia est ajouté à la connexion *WebRTC*. Par la suite, la passerelle domestique crée une *Offre* (paramètres désirés pour la session *WebRTC*) et configure la connexion *WebRTC* créée par cette *Offre*. Après, cette dernière est envoyée à l'application Web via le serveur de signalisation. L'application Web crée à son tour une connexion *WebRTC*, un flux multimédia et un canal de données. Lorsque l'application Web reçoit l'*Offre*, elle configure sa connexion *WebRTC*, crée la réponse *Answer* (paramètres acceptés pour la session *WebRTC*), et l'envoie à la passerelle domestique. Après la configuration de chaque connexion *WebRTC*, l'application Web et la passerelle domestique demandent leurs adresses et leurs ports publics du serveur *STUN* ; ensuite, elles génèrent et s'échangent leurs candidats (adresses IP, ports, protocoles, etc.) respectifs. À la réception de ces candidats, chacun des pairs (application Web et passerelle domestique) configure sa connexion *WebRTC*. À la fin, une connexion directe *WebRTC* est établie entre les pairs. Si l'établissement de cette connexion échoue, elle sera établie au moyen du serveur *TURN*. Dans ce cas, ce serveur joue le rôle d'intermédiaire entre l'application Web et la passerelle domestique.

La Figure 10 décrit le processus d'établissement d'une session *WebRTC* entre l'application Web et la passerelle domestique.

VI.2.2 Connexion Passerelle domestique/Application Web

Comme présenté dans les figures Figure 1 et Figure 10.a, on propose le flux de messages *WebRTC* suivant lorsqu'une situation ou un événement d'urgence se produit :

1. Tout d'abord, la passerelle domestique essaie de gérer la situation pour réduire ou éviter tout dommage à la santé de l'habitant. Autrement dit, la passerelle domestique génère une application Web et la charge sur un serveur Web (Figure 1, étape 1). L'application Web intègre déjà les informations nécessaires pour initier une session *WebRTC* avec la passerelle domestique. Ceci est d'une importance primordiale pour configurer la session avec les informations requises sur l'urgence. L'objectif est d'accélérer l'intervention des assistants en minimisant le temps nécessaire aux messages de signalisation.
2. L'étape suivante (Figure 1, étape 2) concerne l'envoi de la notification de l'urgence au premier intervenant disponible. La forme de la notification peut varier d'un contact à un autre (par exemple, SMS ou appel téléphonique) en fonction de la technologie d'accès disponible (réseau cellulaire, équipements *VoIP*, etc.).
3. Une fois que l'intervenant cible ait téléchargé l'application Web (Figure 1, étape 3), elle établit une session *WebRTC* avec la passerelle domestique comme suit : Tout d'abord, la passerelle domestique et l'application Web récupèrent leurs adresses et ports publics depuis le serveur *STUN* (Figure 1, étape 4). Après cela, elles négocient les paramètres de session sur le serveur de signalisation (Figure 1, étape 5). Enfin, les canaux *WebRTC* sont établis entre la passerelle domestique et l'application Web directement (Figure 1, étape 6) ou via le serveur *TURN* (Figure 1, étape 7).

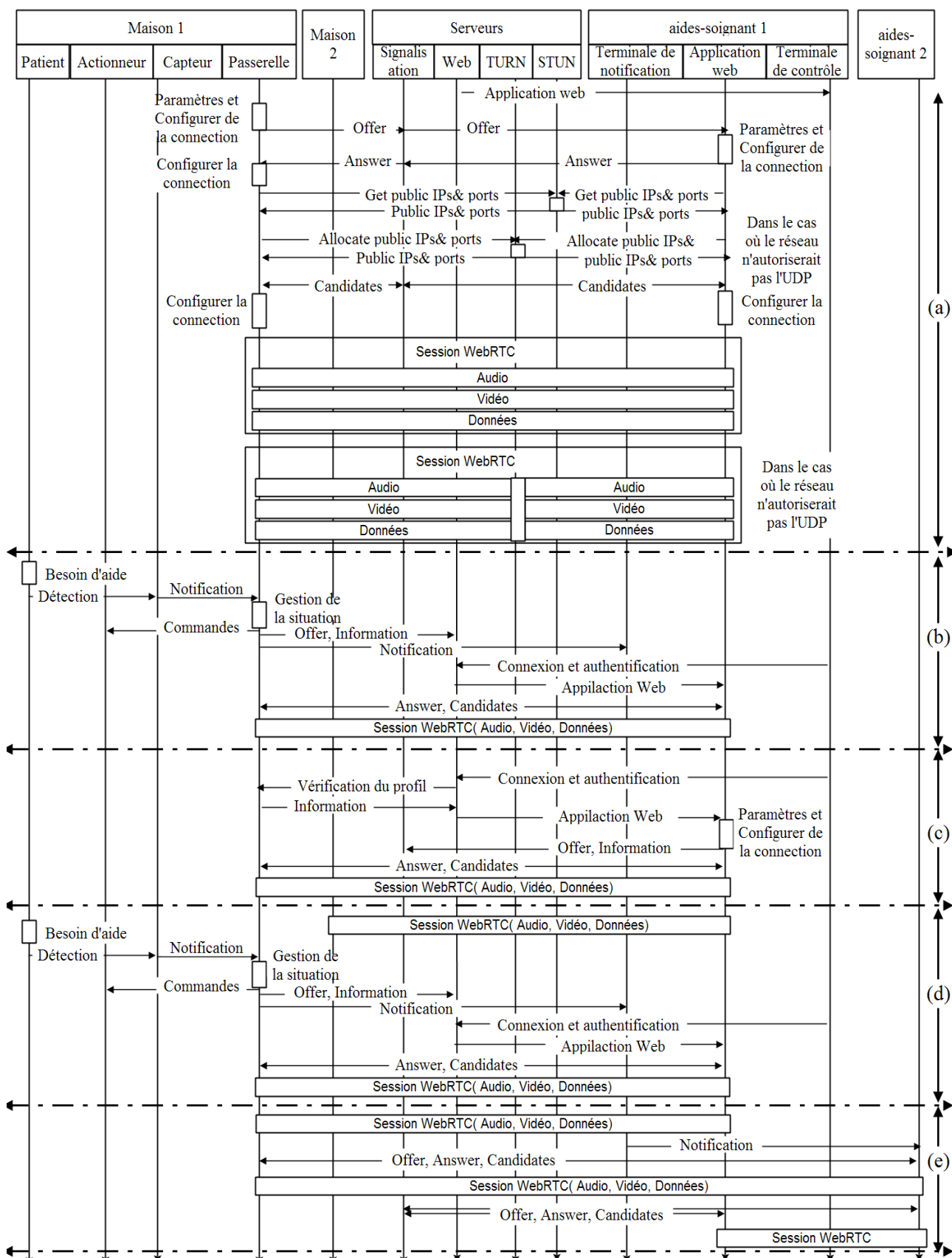


Figure 10. Établissement des sessions WebRTC entre la passerelle domestique et les intervenants.

VI.2.3 Monitoring à distance

L'intervenant peut fournir de l'assistance à distance via une interface Web. Cette interface utilise les canaux *WebRTC* avec les données requises et les flux multimédia en temps réel concernant la situation d'urgence, les dispositifs et capteurs domestiques disponibles, et la personne surveillée. Grâce à cette interface, l'assistant distant peut interagir avec la personne surveillée et son environnement. De plus, cet assistant peut éventuellement compter sur l'aide d'un assistant local (par exemple, un voisin ou un membre de la famille) pour effectuer certaines actions complexes ou immédiates en suivant ses directives.

Selon la nature de l'information échangée, les canaux utilisés pourraient impliquer des données, audio ou vidéo. Afin de donner à l'intervenant un contrôle avancé des appareils domestiques quand il est nécessaire :

1. L'application Web doit pouvoir chercher les périphériques et services disponibles sur le réseau domestique.
2. L'application Web doit pouvoir envoyer des commandes pour contrôler les périphériques et services domestiques. Généralement, les intervenants utilisent l'application Web pour contrôler les appareils domestiques tels que la télévision, le climatiseur, le moteur de porte/fenêtre ; mais parfois ils ont besoin de contrôler à distance des dispositifs médicaux tels que l'arrêt d'une pompe à insuline ou autres.
3. L'application Web doit être capable de demander la description des appareils et services domestiques et les afficher proprement. Cela permet à l'intervenant de prendre connaissance de la façon d'utiliser ces appareils et services.
4. La passerelle domestique doit être en mesure d'informer l'application Web de la disponibilité des périphériques et des services, lorsqu'un périphérique rejoint ou quitte le réseau domestique, lorsqu'un service devient disponible ou indisponible sur le réseau domestique, etc.
5. La passerelle domestique doit être en mesure d'informer l'application Web des modifications liées aux différents périphériques et services.

VI.3 Cas d'utilisation

Afin d'illustrer l'utilisabilité et les options offertes par la solution proposée, cette section présente quatre cas d'utilisation suivants :

- Dans le premier cas, la passerelle domestique initie l'établissement de la connexion à l'intervenant (Figure 11.a, Figure 10.b).
- Dans le deuxième cas, l'intervenant démarre la connexion à la passerelle domestique à partir de l'application Web (Figure 11.b, Figure 10.c).
- Le troisième cas d'utilisation consiste à permettre à l'intervenant de se connecter à de nombreuses passerelles domestiques simultanément (Figure 11.c, Figure 10.d).
- Enfin, le quatrième scénario montre plusieurs intervenants connectés simultanément à la même passerelle domestique (Figure 11.d, Figure 10.e).

VI.3.1 La passerelle domestique initie la connexion à l'intervenant

Ce scénario est utile lorsqu'une passerelle domestique détecte qu'un habitant a besoin d'assistance. Par exemple, lorsque l'habitant patient demande de l'aide en appuyant sur un bouton d'alerte ou lorsqu'un capteur détecte qu'un habitant se trouve dans une situation d'urgence. Comme le montre la Figure 10.b, la passerelle domestique crée une connexion *WebRTC* avec le paramètre requis (configuration audio, vidéo et canal de données). Puis, elle crée une page Web contenant l'application Web, l'interface graphique et les paramètres de la connexion. Par la suite, elle charge cette page Web vers le serveur Web. Ensuite, elle envoie une notification à un intervenant (par exemple, un SMS contenant une brève description de la situation et de l'URL de la page Web). Lorsque l'intervenant se connecte au serveur Web et s'authentifie, la page démarre l'application Web. Cette application crée une connexion *WebRTC* et la configure par les paramètres intégrés dans la page

Web. L'application Web envoie ces paramètres créés à la passerelle domestique. Cette dernière échange ces paramètres des canaux de communication avec l'application Web. Enfin, une session *WebRTC* est établie entre la passerelle domestique et l'application Web. La session créée se compose d'un canal de données fiable et sécurisé, d'un canal vidéo et/ou un canal audio éventuellement. L'application Web fournit à l'intervenant une interface graphique qui contient tous les éléments nécessaires pour contrôler la passerelle domestique dans le but d'aider l'habitant.

VI.3.2 L'intervenant se connecte au réseau domestique

Parfois, les intervenants ou autre (fils ou fille du patient) doivent examiner la situation de l'habitant à la maison. Pour cette raison, le HEMS doit offrir aux intervenants la capacité d'établir une connexion avec la passerelle domestique depuis l'extérieur. Comme l'illustre la Figure 10.c, l'intervenant se connecte d'abord au serveur Web et s'authentifie. Le serveur Web vérifie le profil de l'intervenant dans la passerelle domestique. Dans le cas où l'intervenant dispose des droits de se connecter à la passerelle domestique, le serveur Web envoie l'application Web à l'intervenant. Puis, ce dernier choisit les paramètres de connexion de l'application Web et celle de la passerelle domestique (canal audio, canal vidéo, sources multimédia pour les canaux audio et/ou vidéo, etc.). L'application Web crée une connexion avec les paramètres sélectionnés. Ensuite, elle envoie à la passerelle domestique les paramètres de la connexion *WebRTC* créée ainsi que ceux de la passerelle domestique sélectionnée par l'intervenant. La passerelle domestique crée une connexion *WebRTC* avec le paramètre reçu et envoie les paramètres générés par cette connexion à l'application Web. Enfin, une session *WebRTC* est établie entre l'application Web et la passerelle domestique après échange des paramètres réseaux des canaux de communication. L'intervenant utilise l'interface graphique affichée sur le navigateur Web pour examiner la situation dans la maison et contrôler les appareils domestiques.

VI.3.3 L'intervenant se connecte à plusieurs passerelles domestiques

Un *HEMS* doit permettre à un intervenant d'offrir de l'aide à plusieurs patients simultanément. Ici, deux cas sont possibles :

1. Une passerelle domestique envoie une notification à l'intervenant lorsqu'il est déjà connecté à un autre patient.
2. Lorsque l'intervenant est déjà connecté à une passerelle domestique, il doit être capable de se connecter à une autre passerelle domestique sans être obligé de fermer la première connexion.

Si un habitant a besoin d'assistance, la passerelle domestique télécharge une page Web vers le serveur Web et, envoie une notification à l'intervenant (via le réseau de notification) et au serveur de signalisation. Comme illustré par la Figure 10.d, si le serveur de signalisation se rend compte que l'intervenant est connecté, il redirige la notification à l'application Web. L'intervenant ouvre ainsi un nouvel onglet et se connecte à la nouvelle passerelle domestique. En revanche, si l'intervenant est déjà connecté à une passerelle domestique et souhaite se connecter à une autre à l'aide de la même application Web, cette dernière doit lui permettre d'ouvrir un nouvel onglet et de se connecter à l'autre sans refaire l'authentification.

VI.3.4 Plusieurs intervenants se connectent à une seule passerelle

Ce scénario est principalement requis lorsque deux intervenants ou plus ont besoin d'accéder à la même passerelle domestique pour donner de l'aide à un habitant ou plus situés dans la même maison. Par exemple, un intervenant se connecte à la passerelle domestique pour aider un habitant et il se rend compte qu'il a besoin de l'aide d'un autre intervenant. Deux cas peuvent être distingués :

1. Dans le premier, le second intervenant peut accéder directement à la passerelle domestique. Les deux intervenants peuvent coopérer et communiquer via cette passerelle. Par exemple, si le premier intervenant n'a pas le droit d'accéder à certains services ou données requis, le deuxième intervenant peut lui accorder le droit nécessaire.

2. Cependant, dans l'autre cas, le second intervenant se connecte à l'application Web du premier intervenant. D'une part, le premier intervenant peut partager des données et des vidéos récupérées de la passerelle domestique avec le deuxième intervenant. D'autre part, le deuxième intervenant peut donner des conseils et instructions au premier intervenant. La Figure 10.e illustre comment les messages de signalisation sont échangés entre les applications Web, les terminaux de notification et la passerelle domestique.

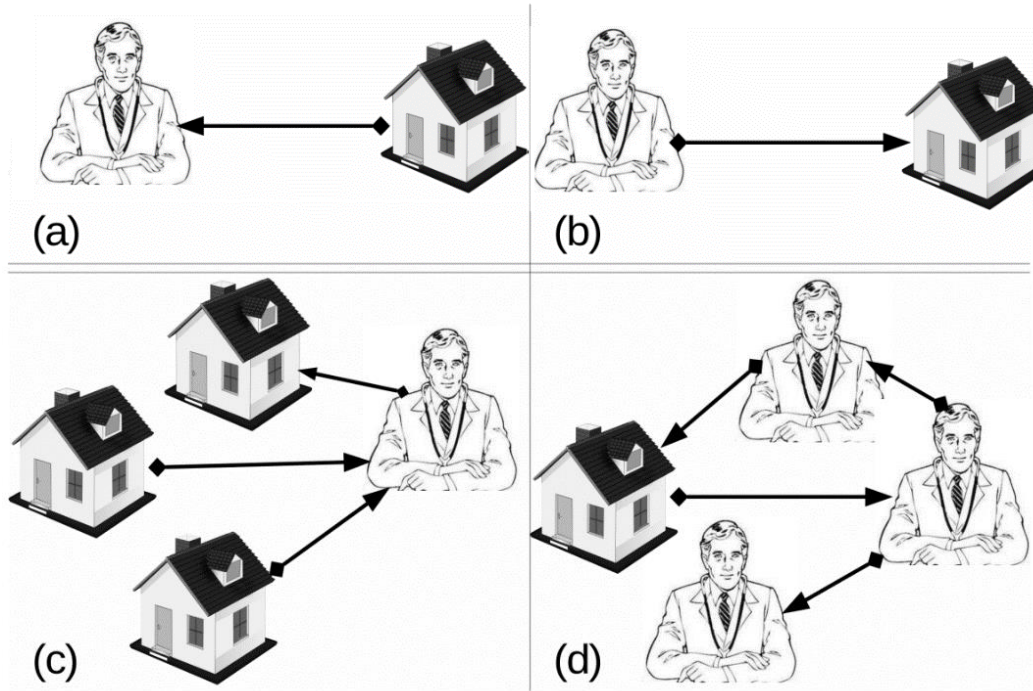


Figure 11. Scenarios de connexion à la passerelle domestique.

VI.4 Expérimentations et résultats

Pour l'évaluation du HEMS proposé, un prototype de passerelle domestique a été développé pour le monitoring des patients dans leur maison. L'implémentation utilise du code Java et C++ compilé sur la distribution *Linux Ubuntu 14.04.2 LTS*. Principalement, cette mise en œuvre a été effectuée en utilisant le framework de *Google Libjingle SDK* [256]. La bibliothèque *Libjingle_Peerconnection* de Google est utilisée pour implémenter les moyens de communication avec l'extérieur en utilisant *WebRTC*. En outre, pour personnaliser le flux d'entrée de la bibliothèque, le module *WebCamStudio* [257] a été utilisé. La bibliothèque *Libjingle_Peerconnection* a été également adaptée en modifiant leur code source.

L'objectif est d'activer la communication *WebRTC* à partir du code natif. De plus, la reconnaissance d'autres modules de la passerelle chargés de fournir différentes sources de données (vidéo, audio, données de capteurs, etc.) a été activée.

Tous les messages de signalisation échangés entre la passerelle domestique et l'application Web sont codés dans JSON ; par conséquent, on a utilisé la bibliothèque java implémentée dans [258] pour encoder et décoder les messages de signalisation. Afin d'acquérir des flux vidéo à partir des caméras IP ou des fichiers, les outils *gst-launch-0.10* [259] et *avconv* [260] sont utilisés respectivement. De plus, une connexion avec la passerelle domestique via TCP et WiFi a été déployée dans le but d'envoyer et recevoir des SMS. La communication entre le smartphone qui simule les dispositifs médicaux est également assurée via TCP et WiFi. De même, un serveur *HTTP* et un serveur *WebSocket* ont été implémentés en utilisant les objets java appropriés (*java.net.ServerSocket* et *java.net.Socket*) et en activant l'option *TCP_NODELAY* pour garantir un meilleur temps de réponse.

Enfin, à des fins de test, un certificat auto-signé a été créé à l'aide de *Java Keytool* pour protéger les données des serveurs *HTTP* et *WebSocket*.

Selon les actions reçues d'un intervenant local/distant, le code natif incorporé à la passerelle domestique pourrait être capable de contrôler l'ensemble de l'environnement domestique. Il pourrait aussi interagir avec différentes sources vidéo/audio, données, actionneurs et capteurs existants.

VI.4.1 Plateforme de test

On a utilisé une architecture composée de deux ordinateurs connectés à l'aide d'un commutateur Ethernet à 100 Mbps :

- Le premier est un ordinateur HP (*noyau i7, 16Go de RAM et 512Go de disque dur SSD avec Ubuntu 14.04 LTS*) qui représente la passerelle domestique et les serveurs Web et de signalisation.
- Le second est un ordinateur DELL qui tourne sous le système d'exploitation Windows 7 et qui est utilisé comme terminal de contrôle.

En outre, trois autres smartphones (*Sony Xperia Z2*) sont utilisés pour envoyer des SMS par la passerelle domestique, recevoir des notifications par l'intervenant, et simuler le flux de données d'un dispositif médical (glucomètre). Enfin, deux caméras sont installées ; la première dans la cuisine et l'autre dans le salon.

VI.4.2 Scénarios expérimentaux

Pour valider la plateforme de tests proposée, deux types de scénarios sont définis : le premier sert à démontrer la faisabilité de l'approche ; le second permet de mesurer le délai d'aller-retour.

VI.4.2.1 Test de faisabilité

Afin de tester la faisabilité du HEMS proposé, on a élaboré un scénario qui comprend les étapes suivantes :

1. Le premier smartphone (qui émule un glucomètre) envoie un message à la passerelle domestique pour l'informer que la glycémie est de 0.5g/l (ce qui représente une urgence de niveau 4).
2. La passerelle domestique génère une application Web (illustrée par la Figure 12).
3. La passerelle domestique (qui implémente le FSM présenté dans la Figure 6) utilise le second smartphone pour notifier l'intervenant en l'envoyant un SMS et un e-mail. Ces deux messages contiennent l'URL de la page Web. Dans le scénario considéré, comme le smartphone n'est pas connecté à Internet, l'intervenant est averti par un SMS. Par la suite, il accédera au courriel reçu sur son ordinateur et cliquera sur l'URL pour lancer l'application Web.
4. L'intervenant utilise le navigateur *Google Chrome* pour se connecter au serveur Web.
5. Après l'authentification, le serveur Web envoie l'application Web au navigateur sur l'ordinateur d'assistance. Dès que cette application ait téléchargée et lancée, elle établit une session *WebRTC* avec la passerelle domestique.

Comme le montre la Figure 12, l'intervenant peut récupérer des informations sur l'habitant en situation d'urgence ; par exemple, sa photo et des informations biographiques, des médicaments habituellement pris par le malade, les changements du taux de glucose dans le sang, des vidéos captées à la maison en temps réel, etc. De plus, l'intervenant est capable de contrôler les caméras installées à la maison. Il est également capable d'envoyer/recevoir un message textuel en temps réel à/de l'intervenant situé à la maison (pour lui dicter des instructions, par exemple).



Figure 12. Interfaces d'une application Web pour la surveillance à distance

VI.4.2.2 Évaluation du délai d'aller-retour

L'assistance à distance peut impliquer de nombreux messages échangés ; par exemple, l'invocation des actions à distance, la récupération de données liées à la santé, etc. Par conséquent, dans cette sous-section, on centre l'évaluation sur le coût de la communication entre la passerelle domestique et l'application Web en termes de délai. L'évaluation est principalement basée sur les délais d'aller-retour des messages nécessaires pour assurer la surveillance à distance.

La Figure 13.a montre que la meilleure performance est obtenue lorsque le *WebSocket* sécurisé est utilisé entre la passerelle domestique et l'application Web au sein de la même machine. Cela reste vrai jusqu'à ce que la taille du message atteigne 2ko environ. En effet, avec des messages supérieurs à 2ko, le délai de *WebSocket* sécurisé commence à augmenter significativement et devient supérieur au délai du canal de données *WebRTC*. Cependant, *HTTPS* donne les grandes valeurs de délai d'aller-retour pour toutes les tailles de messages.

Les tests effectués pour *WebSocket* sécurisé donnent principalement des valeurs proches de la moyenne avec un écart-type qui est généralement inférieur à 1 (Figure 13.b). Pour des tailles de message supérieures à 4ko, l'écart-type du *WebSocket* sécurisé augmente et devient supérieur à l'écart-type du canal de données *WebRTC*. On note que l'écart-type du canal de données *WebRTC* est égal à 1 quelle que soit la taille des messages. Toutefois, l'évaluation montre que *HTTPS* donne le plus grand écart-type.

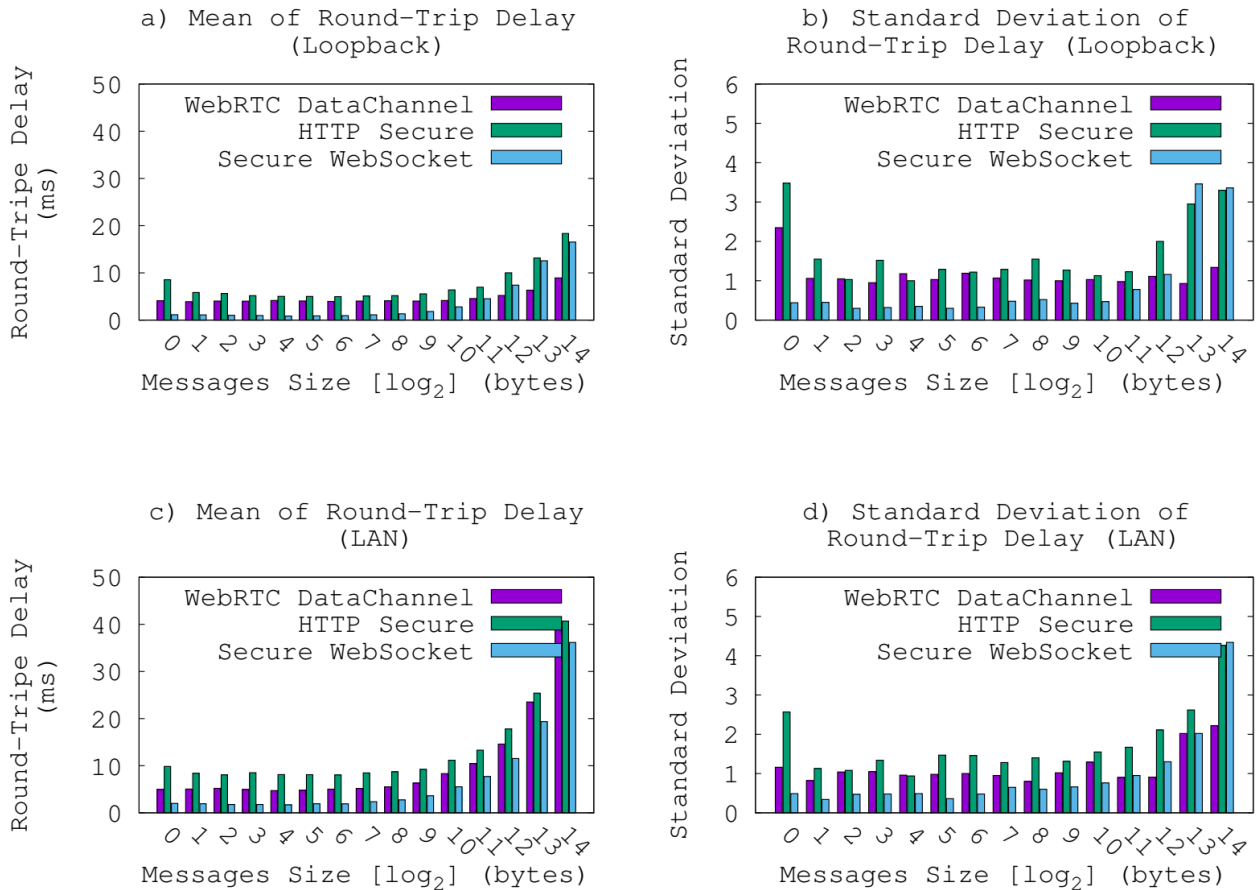


Figure 13. Délai d'aller-retour pour le canal *WebRTC* de données, *WebSocket* sécurisé et *HTTPS*.

Les résultats obtenus dans un réseau local montrent que *WebSocket* sécurisé présente les meilleures performances ; tandis que la pire performance se produit lors de l'utilisation de *HTTPS*. Comme la taille des messages est inférieure à 2ko, *WebSocket* sécurisé donne les meilleurs écart-type et délai. Lorsque la taille du message devient supérieure à 2ko, le canal de données *WebRTC* donne les meilleurs écart-type et délai. Quant au *HTTPS*, il donne le délai et écart-type les plus grands pour toutes les tailles de messages (Figure 13.c et Figure 13.d).

VI.4.2.3 Discussion des résultats obtenus

Les résultats obtenus à partir du prototype assurent la mise en œuvre de toutes les fonctionnalités du HEMS proposé (conférence audio-visuelle bidirectionnelle, chat, contrôle des appareils ménagers, etc.). La comparaison entre les protocoles de communication disponibles montre que *WebSocket* sécurisé donne les meilleures performances en termes de délais. Cependant, il nécessite une gestion des certificats. Si le certificat utilisé n'est pas authentifié par une autorité officielle, l'utilisateur devrait l'importer manuellement dans le navigateur Web. De plus, *WebSocket* ne peut pas être facilement utilisé pour établir une connexion si la passerelle domestique est située dans un réseau avec des configurations avancées (par exemple, derrière un *NAT*).

Le canal de données *WebRTC* fournit un échange fiable de données entre les applications Web et la passerelle domestique. En outre, il permet de traverser les *NAT* sans aucune configuration préalable. *WebRTC* fournit également une communication sécurisée sans nécessiter de certificats supplémentaires sur la passerelle domestique ni du côté de l'application Web. L'inconvénient majeur de *WebRTC* est que la connexion entre les applications Web et la passerelle domestique nécessite des serveurs tiers (*STUN*, *TURN*) et un serveur de signalisation. Heureusement, ce type de serveurs peut être mutualisé pour gérer les connexions de plusieurs passerelles domestiques/applications Web.

VI.4.3 Comparaison et discussion

Le Tableau 6 présente les critères de comparaison de la solution de contrôle et surveillance proposée avec d'autres solutions récentes à base du Web étudiées dans l'état de l'art (section III.6) :

- La solution proposée dans [213] est basée sur des technologies Web normalisées et faciles à utiliser. Elle est efficace pour le transfert de données en temps réel. Également, cette solution ne requiert pas de ressources supplémentaires pour chaque maison (nom de domaine, adresse IP publique fixe, ...). Par contre, elle souffre de plusieurs limites ; entre autres, la sécurité qui n'est pas considérée, les médecins ne peuvent accéder aux stations des patients qu'à l'intérieur des hôpitaux, et la communication entre les patients et les médecins ne se fait que via la cloud (ce qui va engendrer un délai qui peut gêner le contrôle temps réel des appareils domestiques).
- La solution présentée dans [214] est basée sur des technologies Web normalisées. De plus, elle est efficace dans le cas de communication de données brutes en temps réel (pas d'audio ni vidéo) ; en outre, elle permet aux médecins d'accéder aux patients de n'importe quel emplacement. Néanmoins, cette solution nécessite une adresse IP ou un nom de domaine fixe ainsi que l'installation d'un serveur Web pour chaque maison (ce qui complique davantage la maintenance du système). D'autres points faibles concernent le fait que les données passent uniquement du côté patient au médecin, les données passent par une base de données (ce qui complique le contrôle direct des appareils domestiques à cause des délais), et la sécurité n'est pas prise en considération.
- La solution décrite dans [131] permet de contrôler une plateforme Arduino via une page Web. Cette solution est basée sur des technologies Web normalisées ; de plus, elle permet l'accès direct aux équipements médicaux et la communication bidirectionnelle de données en temps réel. Toutefois, cette solution nécessite une adresse IP fixe ou l'ouverture d'un port pour chaque équipement à domicile ; enfin, la sécurité n'est pas prise en compte.
- La solution proposée dans [215] assure une communication bidirectionnelle et temps réel du flux audio-visuel et les données entre les patients et les médecins. La sécurité et la vie privée sont également prises en compte par la gestion des droits d'accès et la sauvegarde de l'historique. Le souci majeur réside dans le fait que cette solution soit basée sur des technologies *Macromedia* (lecteurs *Flash* et *Red5*), d'une part. D'autre part, elle n'assure pas un accès direct aux appareils domestiques. Aussi, l'utilisation des technologies *Macromedia* complique davantage la mise en œuvre et l'exploitation de cette solution. En effet, il est nécessaire de maîtriser les normes et les outils *Macromedia* en plus de ceux du Web. Enfin, il est indispensable d'installer le lecteur *Flash* sur les navigateurs Web.
- La solution présentée dans [217] est basée sur *WebRTC* et, permet la communication audio-visuelle et l'échange de données entre le médecin et les patients via le Web. Cependant, cette solution propose l'utilisation d'un serveur Web à domicile ou des SMS pour contrôler les appareils. Cela représente un inconvénient car il faut réserver une adresse IP routable et fixe, ou utiliser des technologies hétérogènes (Web et GSM). De plus, la sécurité et la protection de la vie privée ne sont pas considérées.
- La solution proposée dans [218], pour le contrôle d'un robot à domicile, utilise *WebRTC* pour assurer la communication entre l'application Web de contrôle en dehors de la maison et l'application Web à l'intérieur de la maison. En outre, la communication entre le robot et l'application Web à domicile se fait via le protocole *Rosbridge* (dédié aux robots) [261] qui se base sur le protocole *WebSocket*. Cette solution se base sur des technologies Web, profite des avantages du *WebRTC*, et prend en considération la préservation de la vie privée des habitants. Néanmoins, le fait qu'elle soit basée sur *Rosbridge* ne facilite pas son extension pour prendre en charge d'autres appareils domestiques.
- La solution proposée dans [219] permet le monitoring des patients et le contrôle des appareils domestiques via le *WebRTC*. La communication entre l'application Web installée à la maison et ces appareils se fait via le protocole *HTTP* ; il est nécessaire par conséquent qu'ils soient dotés de serveurs *HTTP*. Pour les appareils qui ne disposent pas d'assez de ressources pour

exécuter ce type de servers, les auteurs ont utilisé une passerelle pour connecter ces appareils à l'application Web. De plus, les aspects liés à la sécurité et à la préservation de la vie privée sont pris en compte. Les points négatifs de cette solution peuvent être résumés comme suit. Premièrement, vu que le protocole *HTTP* est synchrone, un appareil ne peut envoyer les données qu'après la sollicitation de la page Web ; ceci engendrera un certain délai supplémentaire à cause du temps d'attente entre deux requêtes consécutives. Deuxièmement, la taille importante de l'entête du protocole *HTTP* (qui peut être largement supérieure à celle des données brutes) causera un gaspillage de la bande passante et d'énergie des appareils alimentés par batteries.

- La solution présentée dans [220] utilise une passerelle implémentant *WebRTC* sur une machine native (pas sur le navigateur Web). La communication entre les appareils domestiques et la passerelle est assurée par des protocoles standards comme le *CoAP*, *TCP* et *UDP*. En outre, cette solution gère les problèmes liés à la préservation de la vie privée au niveau de la passerelle domestique. Néanmoins, comme la passerelle est implémentée en utilisant *WebRTC SW stack* (produit propriétaire et fermé développé par *Intel* [262]) rend l'adaptation et l'extensibilité de cette solution plus difficiles (par exemple, apporter des modifications sur le module *WebRTC*).
- La solution décrite dans [221] est basée sur *WebRTC* et intègre un plugin au navigateur Web afin d'assurer la communication entre les capteurs et l'application Web. L'ajout du plugin se fait automatiquement par la page Web et ne nécessite que l'autorisation de l'utilisateur. Néanmoins, la sécurité et la préservation de la vie privée n'ont pas été discutées, ni de manière générale, ni du côté du plugin ajouté.
- La solution proposée dans le cadre de ce travail de thèse offre les avantages des solutions susmentionnées et présente d'autres avantages supplémentaires. En effet, cette solution utilise *WebRTC* afin d'assurer une communication bidirectionnelle et temps-réel de l'audio, vidéo et données entre les applications Web et la passerelle domestique. L'implémentation du module *WebRTC* côté passerelle domestique (en utilisant le code source de Google) a facilité l'intégration du module de communication aux divers types d'appareils domestiques et l'ajout d'autres fonctionnalités (multiplexage de plusieurs vidéos dans un seul canal, commutation du flux multimédia entre différentes sources/destinations, ...). Enfin, la solution proposée préconise le renforcement de la sécurité par la mise en œuvre d'un système de gestion de droits d'accès et la protection des serveurs utilisés (*Web*, *STUN*, et *TURN*).

D'après l'analyse élaborée dans le Tableau 6, il est clair qu'aucune solution ne répond à tous les critères de comparaison identifiés dans la section III.7.2. Dans l'objectif de faciliter la mise en œuvre de la solution proposée, les critères caractérisant un système efficace de monitoring à distance des habitants à domicile et de contrôle des appareils domestiques en temps réel sont considérés ainsi :

- *Extensibilité* : elle est garantie par l'utilisation des technologies extensibles, normalisées et multiplateformes. Il s'agit de technologies Web (*HTML*, *HTTP* et *WebRTC*) du côté de l'application Web, et du code du projet open source de Google du côté de la passerelle domestique.
- *Optimisation de ressources* : la solution proposée a permis d'optimiser les adresses publiques en utilisant *WebRTC* et les certificats *SSL (TLS)* sur chaque passerelle domestique (deux certificats uniquement sont installés ; un sur le serveur Web et l'autre sur le serveur de signalisation). De plus, les mêmes canaux de communication sont partagés entre plusieurs usages. Ainsi, un même canal de données peut être utilisé pour transporter les messages instantanés, les données et les commandes ; les canaux audio/vidéo sont également utilisés pour véhiculer les flux multimédias provenant de/allant vers différents appareils. Pour la vidéo, il est possible de multiplexer plusieurs flux vidéo dans un même flux.
- *Facilité de déploiement* : le déploiement de la plateforme proposée est facile car elle se base sur de technologies standardisées et multiplateformes : (i) du côté Web application, les

technologies Web (*HTTP*, *WebSocket*, *HTML*, *Javascript*, *CSS*, et *WebRTC*) sont prises en charge par les navigateurs les plus utilisés (Chrome, Firefox, Safari, Opéra, etc.) ; (ii) le code source du projet *WebRTC* de Google est compilable sur diverses plateformes, à savoir *Linux* (Ubuntu/Debian), *Windows*, *macOS*, *Android* [263]. L'ensemble des serveurs sont des ressources partagées entre tous les utilisateurs de la plateforme.

- *Interopérabilité* : l'interopérabilité est assurée par l'utilisation des technologies normalisées et des technologies déployables sur différentes plateformes. On parle ainsi de technologies Web implémentées sur les navigateurs les plus utilisés et qui sont utilisables sur différents systèmes d'exploitation.
- *Sécurité* : le *WebRTC* assure le chiffrement de toutes les données passées par ses canaux (audio, vidéo, et données). Cependant, afin de sécuriser la communication avec le serveur Web et le serveur de signalisation, l'utilisation de certificats est exigée pour chiffrer les données. De plus, les serveurs de la plateforme sont protégés en les installant dans une zone protégée. Enfin, l'accès aux données des habitants est sécurisé par un mécanisme de contrôle à base de contexte.
- *Fiabilité* : elle est assurée par les protocoles de communications. D'une part, le *HTTP* et *WebSocket* sont basés sur le TCP qui assure le contrôle de flux de données. De l'autre part, les protocoles SCTP et RTP sont basés sur l'UDP. En plus, le *WebRTC* intègre des mécanismes de contrôle de flux de données par le SCTP et de monitoring de la QoS pour le RTP.
- *Mobilité* : dans ce travail on donne l'importance à la mobilité des intervenants. Ainsi, la plateforme utilise une application Web pour permettre à l'intervenant de contrôler la maison de n'importe quel emplacement offrant l'accès à Internet. En outre, l'utilisation du Web rend l'exploitation de la plateforme indépendante de tous types d'appareils ou de technologies.
- *Qualité de service (QoS)* : *WebRTC* permet à la passerelle domestique de mesurer la QoS dans les canaux audio et vidéo (aux niveaux des applications Web et la passerelle domestique) ainsi que l'adaptation des flux multimédia à la QoS disponible.
- *Traversée de NAT* : la comparaison des technologies Web (*HTTP* et *WebSocket*) avec *WebRTC* montre que ce dernier permet de traverser les NAT ainsi que certaines configurations de firewalls. En conséquence, un intervenant peut utiliser la solution proposée même si ce dernier et/ou la passerelle domestique se trouve(nt) derrière un NAT ou un firewall. Enfin, la solution n'exige pas d'ouvrir des ports pour l'accès à la passerelle domestique.
- *Audio et vidéo* : la solution proposée permet de transmettre la vidéo et l'audio en temps-réel ou à la demande des utilisateurs. Ceci est réalisé sans nécessiter l'intégration de nouveaux modules pour le traitement des flux multimédias. En effet, le *WebRTC* implémente les modules nécessaires tels que les codecs et les protocoles de négociations des sessions.
- *Communication bidirectionnelle* : le transfert de données, de la vidéo et l'audio se fait en mode bidirectionnel. En outre, le médecin peut établir une connexion à la passerelle domestique ; de même, la passerelle domestique peut établir de connexions aux applications Web qui sont actives.
- *Homogénéité* : la solution proposée est basée sur des technologies Web normalisées par 3WC et homogènes contrairement à d'autres solutions de la littérature telles que [215] et [217]. Elle implémente le serveur de signalisation sur la plateforme *Nodejs* qui à son tour utilise le langage *JavaScript* (similairement aux applications Web).
- *Accès direct* : l'utilisation du code source de la bibliothèque *Libjingle_Peerconnection* de Google permet d'intégrer les modules assurant la communication avec les différents appareils domestiques tout en permettant l'accès direct à ces appareils.

Tableau 6. Comparaison de la solution proposée de gestion des services domestique à distance avec d'autres solutions de l'état de l'art.

	Solution proposée	[213]	[214]	[131]	[215]	[217]	[218]	[219]	[220]	[221]
Extensibilité	Open source	PHP MySQL HL7	PHP MySQL	HTTP/JSON	Technologies normalisées	Technologies extensibles normalisées	Difficile car on utilise Google App Engine API.	Technologies extensibles et normalisées	Difficile, car il se base sur une implémentation fermée	Mettre à jour l'extension du navigateur Web
Optimisation de ressources	Pas de nécessité d'adresse IP fixe, Partage des canaux	Pas de nécessité d'adresse IP fixe	Adresse IP fixe nécessaire	-	Pas de nécessité d'une adresse IP fixe	Adresse IP fixe nécessaire et un abonnement mobile	Pas de nécessité d'adresse IP fixe	Pas de nécessité d'adresse IP fixe	Pas de nécessité d'adresse IP fixe	Non
Facilité de déploiement	Technologies Web normalisées et serveurs partagés	SmartBox, appareils conviviaux	Installer un serveur Web.	Basée sur Arduino	Mise en œuvre d'un serveur Red5 (difficile)	Application Web en JavaScript, module SIM	Technologies Web normalisées, Google App Engine API.	Technologies largement utilisées	Basée sur une plateforme unifiée	Installation de l'extension navigateur Web
Interopérabilité	Technologies Web normalisées, Code source multiplateformes	Protocoles normalisés	Protocoles normalisés	Protocoles normalisés	Installation du lecteur flash sur les navigateurs	Technologies normalisées non dépendantes	Google App Engine API peut poser problèmes	Protocoles normalisés	Implémentation fermée du WebRTC native	Protocoles normalisés
Sécurité	Droits d'accès, Protection des serveurs publics	-	-	-	Contrôle d'accès	-	-	Contrôle d'accès	Protection de la vie privée	N'est pas prise en compte
Traversée de NAT	Géré par le WebRTC	Pas nécessaire (smart box se connecte au cloud)	Ouverture d'un port obligatoire	Ouverture d'un port obligatoire	Pas nécessaire (smart box se connecte au serveur Red5)	Ouverture d'un port en cas d'utilisation de serveur	Géré par le WebRTC	Géré par le WebRTC	Géré par le WebRTC	Géré par le WebRTC
Audio (A), Vidéo (V), Données (D)	D/A/V	D	D	D	V/A/D	V/A/D	A/V/D	A/V/D	A/V/D	A/V/D
Communication	Bidirectionnelle	Du patient au médecin	Du patient au médecin	Bidirectionnelle	Bidirectionnelle	Bidirectionnelle	Bidirectionnelle	Bidirectionnelle	Bidirectionnelle	Bidirectionnelle
Homogénéité	Technologies Web normalisées	Technologies Web normalisées	Technologies Web normalisées	Technologies Web normalisées	Technologies hétérogènes (W3C et Macromedia)	Technologies hétérogènes (W3, IETF, ETSI)	Technologies de Web et App Engine API du Google	Technologies Web normalisées	Plateforme unifiée	Technologies Web
Accès direct	Passerelle domestique	Données passent par le cloud	Données passent par une base de données	Accès direct au robot de rééducation	Données passent par le serveur Red5	Accès direct	Navigateur Web via WebSocket	Navigateur Web en utilisant HTTP	Passerelle IoT	Extension u navigateur Web

VI.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté une nouvelle approche de monitoring et de contrôle à distance d'environnements domotiques d'e-santé. Les caractéristiques principales de cette approche sont résumées comme suit :

- Utiliser une implémentation native du *WebRTC* pour la mise en œuvre de la passerelle domestique pour permettre l'accès direct aux appareils.
- Partager les canaux *WebRTC* entre plusieurs usages. Ainsi, le même canal de données permet de transporter les données, les commandes et les messages des utilisateurs. Aussi, un même canal audio/vidéo permet de transporter les flux multimédias de plusieurs sources à diverses destinations (en utilisant un module de commutation au niveau de la passerelle domestique). Enfin, il est possible de multiplexer plusieurs flux vidéo dans un seul canal.
- Permettre en même temps à un intervenant de contrôler plusieurs maisons et à plusieurs intervenants de surveiller une seule maison. Elle permet également à la passerelle domestique d'établir une connexion aux intervenants et à un intervenant d'établir la connexion aux passerelles domestiques.

Par la suite, une plateforme de validation des fonctionnalités de la solution proposée a été implémentée. Aussi, plusieurs tests de comparaison ont été effectués entre les différentes normes de communication des technologies Web existantes (*WebRTC*, *WebSocket* et *HTTPS*) en termes de délai d'aller-retour. Les résultats obtenus montrent que *WebRTC* ne garantit pas les meilleures performances en terme de délais ; cependant, les délais mesurés sont acceptables pour un système de monitoring à distance. De plus, vu les autres avantages du *WebRTC* (*Traversée de NAT*, canaux de données sécurisés par défaut, possibilité de communication audio-visuelle bidirectionnelle), on peut conclure que c'est la meilleure technologie à base de Web permettant d'assister à distance des patients à leurs domiciles.

Enfin, l'étude comparative réalisée a montré qu'aucune solution de la littérature ne respecte la totalité des recommandations listées dans la section III.7.2 (interopérabilité, flexibilité, sécurité, adaptabilité, etc.). Cependant, la solution proposée à base du *WebRTC* combiné à d'autres technologies (*WebcamStudio*, *Libjingle_Peerconnection*, etc.) prend en considération toutes ces exigences.

Chapitre VII : Conclusion générale et perspectives

Ce travail avait comme objectif le développement d'un environnement domotique pour l'e-santé. D'abord, on a commencé par l'étude de l'état de l'art sur les maisons intelligentes ainsi que sur l'e-santé à domicile. Cette étude a démontré l'importance de systèmes de gestion des services de l'e-santé à domicile.

Concernant la maison intelligente, elle est équipée d'une variété d'appareils offrant différents services aux habitants. La communication entre ces appareils ainsi qu'avec l'extérieur (via Internet) est assurée par plusieurs technologies qui coexistent à domicile. Afin qu'elle soit capable de fournir des services complexes aux habitants, la maison est équipée d'une passerelle suffisamment puissante pour exécuter des logiciels intelligents et communiquer avec les appareils quelle que soit leurs technologies de communication.

Les services d'e-santé à domicile se trouvent parmi les services les plus importants offerts par la maison intelligente. À cet effet, un environnement domotique pour l'e-santé a été proposé et mis en œuvre dans le cadre de ce travail de thèse. Cet environnement est concrétisé par un système de gestion des urgences à domicile, *HEMS*. D'abord, un ensemble de propriétés qu'un tel système devrait respecter a été synthétisé à partir de l'étude des travaux de la littérature, suivi d'un ensemble de cinq services que le système devrait fournir aux habitants. Finalement, une architecture a été proposée et un prototype du *HEMS* a été implémenté.

Les principales contributions de ce travail de thèse peuvent être résumées par les points suivants :

- *Recensement des critères à respecter par un environnement domotique d'e-santé* : cette liste inclue la généricité, l'accès à distance, l'interopérabilité, la sécurité, la fiabilité, le respect des contraintes temps réel, la mobilité, l'hétérogénéité, la qualité de service (QoS), la *Traversée de NAT*, la communication bidirectionnelle et l'interaction homme/machine.
- *Proposition d'un formalisme de FSM à base de la théorie des ensembles* : à cet effet, plusieurs ensembles ont été définis tels que les paramètres du contexte, les variables d'état, les valeurs de chaque paramètre du contexte (respectivement, de chaque variable d'état) et, les services offerts par le *HEMS*. Le choix du *FSM* est justifié par le fait que c'est la technique la plus adéquate pour une conception facile offrant plus d'intelligence au *HEMS*. En outre, la théorie des ensembles permet l'abstraction du contexte en ensembles de variables et de valeurs, et sa vérification facile et intuitive. Enfin, un ensemble d'équations a été proposé pour la vérification des opérations d'algèbre de processus ainsi que des méthodes pour son implémentation.
- Le fait qu'il est impossible de développer un système intelligent et parfait offrant des services d'e-santé à domicile, le système *HEMS* proposé a été amélioré par l'intégration de la possibilité d'intervenir pour gérer manuellement ces services. Pour que cette intervention soit possible de l'extérieur de la maison, la technologie *WebRTC* a été choisie (qui offre une communication bidirectionnelle et temps réel de la vidéo, l'audio et les données entre les applications Web et le *HEMS*). De plus, cette technologie offre la possibilité de mesurer et de s'adapter à la qualité de services disponibles sur le réseau et permet de traverser les *NAT* :

- L'application Web est adaptable selon la situation à gérer à distance, les profils des intervenants, et les moyens matériels utilisés par l'intervenant,
 - Le canal de données est utilisé pour transmettre les données brutes ainsi que les commandes (et leurs réponses) de l'intervenant aux services,
 - Les canaux de l'audio et la vidéo sont partagés entre plusieurs flux,
 - Plusieurs intervenants peuvent communiquer entre eux pour gérer la même situation ; il est aussi possible qu'un seul intervenant se connecte à plusieurs *HEMS* pour gérer plusieurs situations en même temps.
- *Le HEMS doit permettre une interaction facile et naturelle avec les habitants* : le système d'interaction doit être capable de s'adapter aux capacités de communication de chaque habitant et au contexte de communication (principalement, le contexte domestique) pour qu'elle soit la plus naturelle possible. De ce fait, le concept de l'identité relative a été défini permettant d'identifier les objets et sujets de la communication selon le contexte domestique et le profil de l'habitant interagissant avec le *HEMS*. Quand le système désire transmettre une information, il la formule et utilise les appareils d'interaction selon le contexte. Par exemple, pour les sourds, il utilise les technologies auditives ; pour les aveugles, il utilise les technologies tactiles, etc. De plus, les objets et sujets sont aussi définis par leurs contextes. Par exemple, les objets peuvent être identifiés selon leurs tailles, couleurs, ou positions. De même, les sujets peuvent être identifiés selon leur contexte ou leur lien avec l'habitant (parent, frère, grand-frère, etc.) ; tout cela en dépend des capacités, des préférences et des habitudes de l'habitant avec lequel le système interagit.
- *Communication entre les appareils domestiques* : l'objectif étant de garantir l'interopérabilité, la simplicité et la dynamisme. En conséquence, le middleware *tinyUPnP* a été proposé sur la base du middleware *UPnP*. *tinyUPnP* est conçu pour garantir l'optimisation des ressources en préservant en même temps les avantages de *UPnP*. L'idée de base est de réduire la taille des mots de contrôle des documents *XML* et des entêtes *HTTP* utilisés par *UPnP* en un ou deux caractères uniquement. Les tests expérimentaux illustrent que le taux de gain en termes de quantité de données échangées est très significatif, tout en gardant les mêmes fonctionnalités et avantages de *UPnP* (essentiellement, la lisibilité des messages et l'extensibilité). Évidemment, un proxy a été mis en œuvre pour gérer l'interopérabilité entre le middleware *tinyUPnP* et *UPnP* en traduisant les messages tout simplement.
- *Sécurité et préservation de la vie privée des habitants* : la dimension de la sécurité est prise en considération par le système *HEMS*. Dans ce cas, certaines recommandations doivent être respectées telles que l'installation de tous les serveurs publics dans des zones sécurisées, le cryptage de tous les canaux de communication, la conservation des traces de toutes les actions, l'utilisation de mécanisme d'authentification (mots de passe), et la mise en œuvre d'un système de contrôle d'accès. Enfin, un système de règles d'accès à base de contexte a été mis en œuvre. Les éléments des règles sont choisis de telle sorte que tous les habitants puissent les comprendre et les valider. Une règle est composée des champs suivants : identifiant de l'intervenant, identifiant de l'habitant, emplacement, temps, variable d'état, niveau d'alerte (situation normale, demande d'aide, possibilité de gestion par un non-spécialiste, nécessite d'intervention d'un professionnel, et urgence extrême) et le niveau d'accès (aucun, lecture seule ou en lecture/écriture).
- *Proposition d'une architecture du système HEMS et d'une passerelle domestique* : dans ce cadre, une architecture modulaire a été proposée pour le *HEMS* qui se compose d'appareils domestiques (capteurs et/ou actionneurs), application Web, passerelle domestique, et un ensemble de serveurs (Web, signalisation, *STUN*, et *TURN*). Quant à la passerelle domestique, elle se compose des modules suivants : *Contrôle*, *WebRTC natif*, *Téléphonie*, *Communication audio/vidéo d'entrée*, *Communication audio/vidéo de sortie*, et *Base de données*. Les modules de communication des audio/vidéo offrent des fonctionnalités très intéressantes qui consistent à commuter l'audio/vidéo envoyée sur le *WebRTC* d'un appareil domestique à un autre.

Le travail effectué dans le cadre de cette thèse ouvre plusieurs perspectives à court et à long termes résumées comme suit :

- Amélioration du formalisme *FSM* dans le but de permettre la gestion de situations complexes (plusieurs situations d'urgence simultanées, suivi de nombreux habitants et habitants visiteurs, etc.). Ceci peut être réalisé par la définition de nouvelles opérations sur le *FSM* (fusion, soustraction, etc.).
- Exploitation des capacités des *FSM* pour anticiper la survenue des situations d'urgence. Ceci pourrait éviter ces situations ou au moins minimiser leurs impacts.
- Développement d'algorithmes de sélection de l'intervenant le plus adéquat dont l'intervention sera la plus efficace. À cet effet, il faut analyser l'historique et le contexte actuel de l'habitant en situation d'urgence ainsi que celui des intervenants connus par le *HEMS*.
- Développement d'algorithmes de génération automatique d'applications Web optimisées à la situation d'urgence à gérer, les moyens utilisés par l'intervenant, et le profil de l'intervenant lui-même. L'optimisation sera effectuée soit au niveau fonctionnel ou au niveau *IHM*.
- Amélioration du module de communication de la vidéo et de l'audio de telle sorte que la bande passante soit utilisée de manière optimale. Ceci va permettre une intervention à distance plus efficace dans les conditions les plus défavorables.
- Amélioration du système de gestion d'accès. Dans ce cadre, la génération dynamique de règles d'accès pourrait être réalisée par l'intégration d'une certaine intelligence tout en respectant les recommandations imposées par *HIPAA* et *OECD*.

Références bibliographiques

- [1] Organization, W.H.: 'eHealth. eHealth at WHO', 2017
- [2] Duff, O., Walsh, D., Furlong, B., O'Connor, N.E., Moran, K., and Woods, C.: 'Systematic review of the use of behaviour change techniques in physical activity eHealth interventions for people with cardiovascular disease', *Journal of Medical Internet Research*, 2017
- [3] Tan, S., Zhang, J., Sun, F., and Wang, S.: 'An approach to support the interoperability of intelligent grouping and resource sharing (IGRS) and universal plug and play (UPnP) in home network environment'. *Proc. 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology*, 2015, pp. 682-686
- [4] Statistics, B.o.L., 'American Time Use Survey: Charts from the American Time Use Survey', <https://www.bls.gov/tus/charts.htm>, accessed 12 janvier 2018
- [5] Balta-Ozkan, N., Davidson, R., Bicket, M., and Whitmarsh, L.: 'Social barriers to the adoption of smart homes', *Energy Policy*, 2013, 63, pp. 363-374
- [6] Krishna, M.B., and Verma, A.: 'A framework of smart homes connected devices using Internet of Things'. *Proc. Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, 2016 2nd International Conference on, 2016, pp. 810-815
- [7] Mennicken, S., Vermeulen, J., and Huang, E.M.: 'From today's augmented houses to tomorrow's smart homes: new directions for home automation research'. *Proc. Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2014, pp. 105-115
- [8] Wilson, C., Hargreaves, T., and Hauxwell-Baldwin, R.: 'Smart homes and their users: a systematic analysis and key challenges', *Personal and Ubiquitous Computing*, 2015, 19, (2), pp. 463-476
- [9] Majid, N.H.A., Salehudin, M.S., Rahim, Z.A., and Othman, R.: 'Indoor Environmental Regulation through Preference and Behaviour of Inhabitants in Houses', *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2015, 170, pp. 527-536
- [10] Schiffhauer, B., Bernotat, J., Eyssel, F., Bröhl, R., and Adriaans, J.: 'Let the User Decide! User Preferences Regarding Functions, Apps, and Interfaces of a Smart Home and a Service Robot'. *Proc. International Conference on Social Robotics*, 2016, pp. 971-981
- [11] Cheng, J., Wu, Y., Huang, H., and Kang, X.: 'Study of Middle-Aged and Youth Users' Preference for Smart Homes'. *Proc. International Conference on Human-Computer Interaction*, 2016, pp. 483-493
- [12] Lou, Y., Wu, W., Vataavu, R.-D., and Tsai, W.-T.: 'Personalized gesture interactions for cyber-physical smart-home environments', *Science China Information Sciences*, 2017, 60, (7), pp. 072104
- [13] Heidari, M., Allameh, E., De Vries, B., Timmermans, H., and Mozaffar, F.: 'Decision Modeling in Smart Home Design'. *Proc. International Workshop on Ambient Assisted Living*, 2014, pp. 211-218

- [14] Badami, V.V., and Chbat, N.W.: 'Home appliances get smart', *Ieee Spectrum*, 1998, 35, (8), pp. 36-43
- [15] Hamon, C., Lestideau, V., Vega, G., and Lalanda, P.: 'Device installation in smart homes'. *Proc. Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, 2017 IEEE International Conference on, 2017, pp. 74-75
- [16] Son, B., Han, C.-S., Jeon, Y.-T., and Lee, D.-H.: 'A RFID/NFC Fusion based Smart Refrigerator for Wellness Service', *2014 Advanced Science and Technology Letters*, 2014, 64, pp. 72-75
- [17] Loh, P., and Let, D.: 'A cost-effective space sensing prototype for an intelligent refrigerator'. *Proc. Control, Automation, Robotics and Vision Conference*, 2004. ICARCV 2004 8th, 2004, pp. 798-803
- [18] Jalilifard, A., da Silva, A.G., and Islam, M.K.: 'Brain-TV connection: Toward establishing emotional connection with smart TVs'. *Proc. Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, 2017 IEEE Region 10, 2017, pp. 726-729
- [19] Hyun-Wook, K., Hoque, R.M., Hyungyu, S., and Yang, S.-H.: 'Development of middleware architecture to realize context-aware service in smart home environment', *Computer Science and Information Systems*, 2016, 13, (2), pp. 427-452
- [20] Kim, S.-M., Choi, H.-S., and Rhee, W.-S.: 'IoT home gateway for auto-configuration and management of MQTT devices'. *Proc. Wireless Sensors (ICWiSe)*, 2015 IEEE Conference on, 2015, pp. 12-17
- [21] Tsai, W.-C., Zhu, S.-X., Lu, M.-H., Merzoug, J., Yu, C., and Huang, I.: 'An implementation of IoT gateway for home appliances control over cellular network'. *Proc. Awareness Science and Technology (iCAST)*, 2017 IEEE 8th International Conference on, 2017, pp. 400-404
- [22] Yang, B.: 'Design and Implementation of Intelligent Home Wireless Gateway Based on STM32'. *Proc. Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 2017 4th International Conference on, 2017, pp. 258-260
- [23] Chung, T.-Y., Mashal, I., Alsaryrah, O., Hsu, T.-H., Chang, C.-H., and Kuo, W.-H.: 'Design and implementation of light-weight smart home gateway for Social Web of Things'. *Proc. Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, 2014 Sixth International Conf on, 2014, pp. 425-430
- [24] Mittek, M., Carlson, J.D., and Pérez, L.C.: 'Design and implementation of a low-cost embedded Linux gateway for smart home health monitoring'. *Proc. Electro/Information Technology (EIT)*, 2014 IEEE International Conference on, 2014, pp. 485-490
- [25] Zhenhua, X.: 'Design and implementation of intelligent gateway for smart home'. *Proc. Control and Decision Conference (CCDC)*, 2016 Chinese, 2016, pp. 4713-4718
- [26] Fu, K., Zheng, T., Zhang, B., Bai, L., and Bo, Z.: 'Study of relay deployment in home area network based on power line communications'. *Proc. Power System Technology (POWERCON)*, 2014 International Conference on, 2014, pp. 1956-1962
- [27] Shoaib, S., Chen, X., and Llewellyn, I.: 'Increasing the Effective Range of Smart Meter Home Area Network', *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2017, 16, pp. 2898-2901
- [28] Galli, S., Kerpez, K.J., Mariotte, H., and Moulin, F.: 'PLC-to-DSL interference: Statistical model and impact on VDSL2, vectoring, and G. Fast', *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2016, 34, (7), pp. 1992-2005
- [29] Muniz, A., Tsukamoto, K., Kawahara, K., and Oie, Y.: 'An effectiveness evaluation of plc/wlan cooperative transmission scheme under practical network environment'. *Proc. Network-Based Information Systems (NBIS)*, 2014 17th International Conference on, 2014, pp. 438-443

- [30] Shi, Y., Tangdiongga, E., Koonen, A., Bluschke, A., Rietzsch, P., Montalvo, J., De Laat, M., Van Den Hoven, G., and Huiszoon, B.: 'Plastic-optical-fiber-based in-home optical networks', *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52, (6), pp. 186-193
- [31] Mittal, N., Shah, M., and John, J.: 'A low cost short haul plastic optical fiber link for home networking applications'. *Proc. Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, IEEE International Conference on, 2016, pp. 2112-2116
- [32] Cao, Z., Li, F., Liu, Y., Yu, J., Wang, Q., Oh, C., Jiao, Y., Tran, N., van den Boom, H., and Tangdiongga, E.: '61.3-Gbps hybrid fiber-wireless in-home network enabled by optical heterodyne and polarization multiplexing', *Journal of Lightwave Technology*, 2014, 32, (19), pp. 3227-3233
- [33] Popoola, W.O., Pikasis, E., and Osahon, I.: 'Hybrid polymer optical fibre and visible light communication link for in-home network'. *Proc. Wireless and Optical Communication Conference (WOCC)*, 2017 26th, 2017, pp. 1-6
- [34] Batalla, J.M., Mastorakis, G., Mavromoustakis, C.X., and Zurek, J.: 'On cohabitating networking technologies with common wireless access for home automation system purposes', *IEEE Wireless Communications*, 2016, 23, (5), pp. 76-83
- [35] Jakovljević, S., Subotić, M., and Papp, I.: 'Realisation of a Smart Plug device based on Wi-Fi technology for use in home automation systems'. *Proc. Consumer Electronics (ICCE)*, 2017 IEEE International Conference on, 2017, pp. 327-328
- [36] Langhammer, N., and Kays, R.: 'Enhanced frequency hopping for reliable interconnection of low power smart home devices'. *Proc. Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2012 8th International, 2012, pp. 305-310
- [37] Sarijari, M.A., Lo, A., Abdullah, M.S., De Groot, S.H., Niemegeers, I.G., and Rashid, R.A.: 'Coexistence of heterogeneous and homogeneous wireless technologies in smart grid-home area network'. *Proc. Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*, 2013 International Conference on, 2013, pp. 576-581
- [38] Yanjun, S.: 'The Smart Home Control System Based on the ZigBee and Infrared Technology'. *Proc. Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA)*, 2017 International Conference on, 2017, pp. 101-104
- [39] Hua, Y., Ling, R., Yu, D., and Yang, C.: 'Intelligent household infrared real-time control system based on web research and design'. *Proc. Automation (YAC)*, 2017 32nd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of, 2017, pp. 298-303
- [40] Adiono, T., Tandiawan, B., Fuada, S., Muttaqin, R., Fathany, M.Y., Adijarto, W., and Harimurti, S.: 'Prototyping design of IR remote controller for smart home applications'. *Proc. Region 10 Conference, TENCON 2017-2017 IEEE*, 2017, pp. 1304-1308
- [41] Boucouvalas, A., Chatzimisios, P., Ghassemlooy, Z., Uysal, M., and Yiannopoulos, K.: 'Standards for indoor optical wireless communications', *IEEE Communications Magazine*, 2015, 53, (3), pp. 24-31
- [42] Hsia, K.-H., Su, K.-L., Guo, H., and Chung, C.-Y.: 'Infrared communication of leader-follower robots in home security system'. *Proc. Industrial Technology (ICIT)*, 2016 IEEE International Conference on, 2016, pp. 1654-1659
- [43] Chen, G., and Kotz, D.: 'A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research', 2000
- [44] Hoque, M.R., Kabir, M.H., Jang, J.-H., and Yang, S.-H.: 'Middleware aided context-aware service for smart home'. *Proc. Consumer Electronics (ISCE 2014)*, The 18th IEEE International Symposium on, 2014, pp. 1-2

- [45] Son, H., Tegelund, B., Kim, T., Lee, D., Hyun, S.J., Lim, J., and Lee, H.: 'A distributed middleware for a smart home with autonomous appliances'. Proc. Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 2015 IEEE 39th Annual, 2015, pp. 23-32
- [46] Wang, X., Tao, Y., and Xu, X.: 'SHSM: A Service Middleware for Smart Home'. Proc. Mobile Services (MS), 2015 IEEE International Conference on, 2015, pp. 475-479
- [47] Toschi, G.M., Campos, L.B., and Cugnasca, C.E.: 'An UPnP architecture for interoperability in Home Area Network'. Proc. Consumer Electronics (ISCE), 2016 IEEE International Symposium on, 2016, pp. 51-52
- [48] 'DSL Technology – Broadband via Telephone Lines': 'Broadband Access'
- [49] SHARMA, N.: 'Digital Subscriber Line', 2018
- [50] Association, F.B., 'What is Fiber Broadband?', <https://www.fiberbroadband.org/what-is-fiber-broadband>, accessed 12 janvier 2018
- [51] Mannan, A., Saxena, D., and Banday, M.: 'A study on power line communication', International Journal of scientific and Research publications, 2014, 4, (7), pp. 1-4
- [52] Anatory, J., and Theethayi, N.: 'Broadband power-line communications systems: theory & applications' (wit press, 2010. 2010)
- [53] Fettweis, G., and Alamouti, S.: '5G: Personal mobile internet beyond what cellular did to telephony', IEEE Communications Magazine, 2014, 52, (2), pp. 140-145
- [54] Iqbal, M.K., Iqbal, M.B., Shamooun, S., and Bhatti, M.: 'Future of satellite broadband Internet services and comparison with terrestrial access methods eg DSL and cable modem'. Proc. Computer, Control & Communication (IC4), 2013 3rd International Conference on, 2013, pp. 1-5
- [55] Sala, J.E.G., Caporal, R.M., Huerta, E.B., Rivas, J.J.R., and Magdaleno, J.d.J.R.: 'A Smart Switch to Connect and Disconnect Electrical Devices at Home by Using Internet', IEEE Latin America Transactions, 2016, 14, (4), pp. 1575-1581
- [56] Adiono, T., Fathany, M.Y., Putra, R.V.W., Afifah, K., Santriaji, M.H., Lawu, B.L., and Fuada, S.: 'Live demonstration: MINDS—Meshed and internet networked devices system for smart home: Track selection: Embedded systems'. Proc. Circuits and Systems (APCCAS), 2016 IEEE Asia Pacific Conference on, 2016, pp. 736-737
- [57] Lee, K.-M., Teng, W.-G., and Hou, T.-W.: 'Point-n-Press: An Intelligent Universal Remote Control System for Home Appliances', IEEE Transactions on automation science and engineering, 2016, 13, (3), pp. 1308-1317
- [58] Manssor, S.A., Osman, A.A., and Awadalkareem, S.D.: 'Controlling home devices for handicapped people via voice command techniques'. Proc. Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering (ICCNEEE), 2015 International Conference on, 2015, pp. 374-378
- [59] Lin, Y.-W., Lin, Y.-B., Hsiao, C.-Y., and Wang, Y.-Y.: 'IoTtalk-RC: Sensors As Universal Remote Control for Aftermarket Home Appliances', IEEE Internet of Things Journal, 2017, 4, (4), pp. 1104-1112
- [60] Ellsworth-Krebs, K., Reid, L., and Hunter, C.J.: 'Integrated framework of home comfort: relaxation, companionship and control', Building Research & Information, 2018, pp. 1-17
- [61] Mohsenzadeh, A., Shariatkhah, M.H., and Haghifam, M.-R.: 'Applying fuzzy techniques to model customer comfort in a smart home control system', 2013
- [62] Vanus, J., Martinek, R., Bilik, P., Zidek, J., and Skotnicova, I.: 'Evaluation of thermal comfort of the internal environment in smart home using objective and subjective factors'. Proc.

- Electric Power Engineering (EPE), 2016 17th International Scientific Conference on, 2016, pp. 1-5
- [63] Bonhomme, S., Campo, E., Esteve, D., and Guennec, J.: 'Methodology and tools for the design and verification of a smart management system for home comfort'. Proc. Intelligent Systems, 2008. IS'08. 4th International IEEE Conference, 2008, pp. 24-22-24-27
- [64] Huang, G., Yang, J., and Wei, C.: 'Cost-Effective and Comfort-Aware Electricity Scheduling for Home Energy Management System'. Proc. Big Data and Cloud Computing (BDCloud), Social Computing and Networking (SocialCom), Sustainable Computing and Communications (SustainCom)(BDCloud-SocialCom-SustainCom), 2016 IEEE International Conferences on, 2016, pp. 453-460
- [65] Rawi, M.I.M., and Al-Anbuky, A.: 'Wireless sensor networks and human comfort index', Personal and ubiquitous computing, 2013, 17, (5), pp. 999-1011
- [66] Nishiyama, T., Hibiya, S., and Sawaragi, T.: 'Development of agent system based on decision model for creating an ambient space', AI & society, 2011, 26, (3), pp. 247-259
- [67] Xu, Q., Wang, Z., Wang, F., and Li, J.: 'Thermal comfort research on human CT data modeling', Multimedia Tools and Applications, 2018, 77, (5), pp. 6311-6326
- [68] Al-Shorbaji, N.: 'The World Health Assembly resolutions on eHealth: eHealth in support of universal health coverage', Methods Inf Med, 2013, 52, (6), pp. 463-466
- [69] Liu, L., Stroulia, E., Nikolaidis, I., Miguel-Cruz, A., and Rincon, A.R.: 'Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: A systematic review', International journal of medical informatics, 2016, 91, pp. 44-59
- [70] Silva, V.J., de Ferreira, V.F., and Viana, N.S.: 'Architecture for Integrating Healthcare Services to the Brazilian Digital TV System', IEEE Latin America Transactions, 2015, 13, (1), pp. 241-249
- [71] Sun, A., Venkatesh, A., and Hall, D.A.: 'A multi-technique reconfigurable electrochemical biosensor: enabling personal health monitoring in mobile devices', IEEE transactions on biomedical circuits and systems, 2016, 10, (5), pp. 945-954
- [72] Chitnis, S., Deshpande, N., and Shaligram, A.: 'An investigative study for smart home security: Issues, challenges and countermeasures', Wireless Sensor Network, 2016, 8, (04), pp. 61
- [73] Hussein, N.A., and Al Mansoori, I.: 'Smart Door System for Home Security Using Raspberry pi3'. Proc. Computer and Applications (ICCA), 2017 International Conference on, 2017, pp. 395-399
- [74] Jose, A.C., Malekian, R., and Ye, N.: 'Improving home automation security; integrating device fingerprinting into smart home', IEEE Access, 2016, 4, pp. 5776-5787
- [75] Jose, A.C., and Malekian, R.: 'Improving smart home security: Integrating logical sensing into smart home', IEEE Sensors Journal, 2017, 17, (13), pp. 4269-4286
- [76] Fernandes, E., Jung, J., and Prakash, A.: 'Security analysis of emerging smart home applications'. Proc. 2016 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), 2016, pp. 636-654
- [77] Samsung, 'Samsung SmartThings', <http://www.smarththings.com/>, accessed 20 juillet 2019
- [78] Zhang, J., Shan, Y., and Huang, K.: 'ISEE Smart Home (ISH): Smart video analysis for home security', Neurocomputing, 2015, 149, pp. 752-766
- [79] Mahler, M.A., Li, Q., and Li, A.: 'SecureHouse: A home security system based on smartphone sensors'. Proc. 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2017, pp. 11-20

- [80] Bugeja, J., Jacobsson, A., and Davidsson, P.: 'On Privacy and Security Challenges in Smart Connected Homes'. Proc. Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC), 2016 European, 2016, pp. 172-175
- [81] Gill, K., Yang, S.-H., and Wang, W.-L.: 'Secure remote access to home automation networks', IET Information Security, 2013, 7, (2), pp. 118-125
- [82] Alami, A., Benhlila, L., and Bah, S.: 'An overview of privacy preserving techniques in smart home Wireless Sensor Networks'. Proc. Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA), 2015 10th International Conference on, 2015, pp. 1-4
- [83] Liu, Y., Zhang, G., Chen, W., and Wang, X.: 'An efficient privacy protection solution for smart home application platform'. Proc. Computer and Communications (ICCC), 2016 2nd IEEE International Conference on, 2016, pp. 2281-2285
- [84] Song, T., Li, R., Mei, B., Yu, J., Xing, X., and Cheng, X.: 'A privacy preserving communication protocol for IoT applications in smart homes', IEEE Internet of Things Journal, 2017, 4, (6), pp. 1844-1852
- [85] Psychoula, I., Chen, L., and Chen, F.: 'Privacy modelling and management for assisted living within smart homes'. Proc. e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 2017 IEEE 19th International Conference on, 2017, pp. 1-6
- [86] Konidala, D.M., Kim, D.-Y., Yeun, C.-Y., and Lee, B.-C.: 'Security framework for RFID-based applications in smart home environment', Journal of Information Processing Systems, 2011, 7, (1), pp. 111-120
- [87] Reeder, R., and Schechter, S.: 'When the password doesn't work: Secondary authentication for websites', IEEE Security & Privacy, 2011, 9, (2), pp. 43-49
- [88] Lu, Y., Li, L., Peng, H., Xie, D., and Yang, Y.: 'Robust and efficient biometrics based password authentication scheme for telecare medicine information systems using extended chaotic maps', Journal of medical systems, 2015, 39, (6), pp. 65
- [89] Xiao, D., Liao, X., and Wong, K.: 'An efficient entire chaos-based scheme for deniable authentication', Chaos, Solitons & Fractals, 2005, 23, (4), pp. 1327-1331
- [90] Mohammedi, M., Omar, M., Aitabdelmalek, W., Mansouri, A., and Bouabdallah, A.: 'Secure and lightweight biometric-based remote patient authentication scheme for home healthcare systems'. Proc. 2018 International Symposium on Programming and Systems (ISPS), 2018, pp. 1-6
- [91] Zhang, L., Zhang, Y., Tang, S., and Luo, H.: 'Privacy protection for e-health systems by means of dynamic authentication and three-factor key agreement', IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, 65, (3), pp. 2795-2805
- [92] Ahn, G.-J., Hu, H., and Jin, J.: 'Security-enhanced OSGi service environments', IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 2009, 39, (5), pp. 562-571
- [93] Li, N., Tsigkanos, C., Jin, Z., Dustdar, S., Hu, Z., and Ghezzi, C.: 'Poet: Privacy on the edge with bidirectional data transformations'. Proc. International Conference on Pervasive Computing and Communications. IEEE Press, 2019, pp.
- [94] Periyasamy, K., Alagar, V., and Wan, K.: 'Dependable design for elderly health care'. Proc. 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2017, pp. 803-806
- [95] Makewave, 'Knopflerfish OSGi - open source OSGi service platform.', <https://www.knopflerfish.org/index.html>, accessed 20 juillet 2019

- [96] Anvari-Moghaddam, A., Monsef, H., and Rahimi-Kian, A.: 'Optimal smart home energy management considering energy saving and a comfortable lifestyle', *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2015, 6, (1), pp. 324-332
- [97] Althaher, S., Mancarella, P., and Mutale, J.: 'Automated demand response from home energy management system under dynamic pricing and power and comfort constraints', *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2015, 6, (4), pp. 1874-1883
- [98] Gupta, A., Mudgal, A., Jayaraj, C., Kulkarni, J., Jain, K., Murarka, P., and Gujar, S.: 'Smart home device and energy management systems'. *Proc. India Conference (INDICON)*, 2011 Annual IEEE, 2011, pp. 1-5
- [99] Han, D.-M., and Lim, J.-H.: 'Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee', *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56, (3)
- [100] Zhang, D., Li, S., Sun, M., and O'Neill, Z.: 'An optimal and learning-based demand response and home energy management system', *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2016, 7, (4), pp. 1790-1801
- [101] Hansen, T., Chong, E., Suryanarayanan, S., Maciejewski, A., and Siegel, H.: 'A partially observable markov decision process approach to residential home energy management', *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2016
- [102] Zhai, S., Wang, Z., Yan, X., and He, G.: 'Appliance Flexibility Analysis Considering User's Behavior in Home Energy Management System Using Smart Plugs', *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018
- [103] Guang, N.L.L., Logenthiran, T., and Abidi, K.: 'Application of Internet of Things (IoT) for home energy management'. *Proc. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2017 IEEE PES, 2017, pp. 1-6
- [104] Chen, S., Liu, T., Gao, F., Ji, J., Xu, Z., Qian, B., Wu, H., and Guan, X.: 'Butler, not servant: a human-centric smart home energy management system', *IEEE Communications Magazine*, 2017, 55, (2), pp. 27-33
- [105] Gonzalo, P.-J., and Juan, A.H.-T.: 'Control of home devices based on hand gestures'. *Proc. Consumer Electronics-Berlin (ICCE-Berlin)*, 2015 IEEE 5th International Conference on, 2015, pp. 510-514
- [106] Khalid, M., Kishan, K., Kishen, K., Gounder, U., Chand, P., Metha, U., and Mamun, K.: 'Design and development of low cost voice control smart home device in the South Pacific'. *Proc. Computer Science and Engineering (APWC on CSE)*, 2014 Asia-Pacific World Congress on, 2014, pp. 1-6
- [107] Katz, D., Hafsia, L.B., Salem, O., and Mehaoua, A.: 'Intelligent remote control of smart home devices using physiological parameters'. *Proc. E-health Networking, Application & Services (HealthCom)*, 2015 17th International Conference on, 2015, pp. 280-285
- [108] Rubio-Drosdov, E., Díaz-Sánchez, D., Almenárez, F., Arias-Cabarcos, P., and Marín, A.: 'Seamless human-device interaction in the internet of things', *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2017, 63, (4), pp. 490-498
- [109] Katore, M., and Bachute, M.: 'Speech based human machine interaction system for home automation'. *Proc. Bombay Section Symposium (IBSS)*, 2015 IEEE, 2015, pp. 1-6
- [110] Lee, H., Shin, D., Shin, D., and Kim, S.: 'A Classifier Algorithm Exploiting User's Environmental Context and Bio-signal for U-Home Services'. *Proc. International Conference on Grid and Pervasive Computing*, 2013, pp. 594-601
- [111] Harrou, F., Zerrouki, N., Sun, Y., and Houacine, A.: 'Vision-based fall detection system for improving safety of elderly people', *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 2017, 20, (6), pp. 49-55

- [112] Administration, U.S.F.a.D., 'Medical device', <https://www.registrarcorp.com/fda-medical-devices/>, accessed 12 janvier 2018
- [113] Cai, Y., Yang, Y., Hauptmann, A., and Wactlar, H.: 'Monitoring and Coaching the Use of Home Medical Devices', in Briassouli, A., Benois-Pineau, J., and Hauptmann, A. (Eds.): 'Health Monitoring and Personalized Feedback using Multimedia Data' (Springer International Publishing, 2015), pp. 265-283
- [114] Bitterman, N.: 'Design of medical devices—A home perspective', *European journal of internal medicine*, 2011, 22, (1), pp. 39-42
- [115] Keller, S.C., Gurses, A.P., Werner, N., Hohl, D., Hughes, A., Leff, B., and Arbaje, A.I.: 'Older Adults and Management of Medical Devices in the Home: Five Requirements for Appropriate Use', *Population health management*, 2017, 20, (4), pp. 278-286
- [116] Mynatt, E., Clark, J., Hager, G., Lopresti, D., Morrisett, G., Nahrstedt, K., Pappas, G., Patel, S., Rexford, J., and Wright, H.: 'A national research agenda for intelligent infrastructure', *arXiv preprint arXiv:1705.01920*, 2017
- [117] Islam, S.K., Fathy, A., Wang, Y., Kuhn, M., and Mahfouz, M.: 'Hassle-free vitals: Biowireless for a patient-centric health-care paradigm', *IEEE Microwave Magazine*, 2014, 15, (7), pp. S25-S33
- [118] Boulemtafes, A., Rachedi, A., and Badache, N.: 'A study of mobility support in wearable health monitoring systems: Design framework'. *Proc. Computer Systems and Applications (AICCSA)*, 2015 IEEE/ACS 12th International Conference of, 2015, pp. 1-8
- [119] Takayama, J.A.a.S.: 'Active user interface of telemetric body area network system'. *Proc. 2017 11th Asian Control Conference (ASCC)*, 2017, pp. 2575-2580
- [120] Hassan, M.M., Albakr, H., Al-Dossari, H., and Mohamed, A.: 'Resource Provisioning for Cloud-Assisted Body Area Network in a Smart Home Environment', *IEEE Access*, 2017, 5, pp. 13213-13224
- [121] Elghers, S., Makhoul, A., and Laiymani, D.: 'Local emergency detection approach for saving energy in wireless body sensor networks'. *Proc. Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2014 IEEE 10th International Conference on, 2014, pp. 585-591
- [122] Benmansour, T., Ahmed, T., and Moussaoui, S.: 'Performance Evaluation of IEEE 802.15. 6 MAC in monitoring of a cardiac patient'. *Proc. Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, 2016 IEEE 41st Conference on, 2016, pp. 241-247
- [123] Yamasue, K., Takizawa, K., Sodeyama, K., Sugimoto, C., and Kohno, R.: 'Vital sign monitoring by using UWB Body Area Networks in hospital and home environments'. *Proc. Medical Information and Communication Technology (ISMICT)*, 2012 6th International Symposium on, 2012, pp. 1-4
- [124] Kim, Y., Lee, S., and Lee, S.: 'Coexistence of ZigBee-based WBAN and WiFi for health telemonitoring systems', *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 2016, 20, (1), pp. 222-230
- [125] Robinson, H., MacDonald, B., and Broadbent, E.: 'The role of healthcare robots for older people at home: A review', *International Journal of Social Robotics*, 2014, 6, (4), pp. 575-591
- [126] Simshaw, D., Terry, N., Hauser, K., and Cummings, M.: 'Regulating healthcare robots: Maximizing opportunities while minimizing risks', *Rich. JL & Tech.*, 2015, 22, pp. 1
- [127] Koceski, S., and Koceska, N.: 'Evaluation of an assistive telepresence robot for elderly healthcare', *Journal of medical systems*, 2016, 40, (5), pp. 121
- [128] Alaiad, A., and Zhou, L.: 'The determinants of home healthcare robots adoption: An empirical investigation', *International journal of medical informatics*, 2014, 83, (11), pp. 825-840

- [129] Ahn, H.S., Datta, C., Kuo, I.-H., Stafford, R., Kerse, N., Peri, K., Broadbent, E., and MacDonald, B.A.: 'Entertainment services of a healthcare robot system for older people in private and public spaces'. Proc. 2015 6th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA), 2015, pp. 217-222
- [130] Ouiguini, R., and Belloulou, B.: 'Navigation of an autonomous wheelchair in a structured environment'. Proc. Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1996., Proceedings of the 1996 IEEE IECON 22nd International Conference on, 1996, pp. 749-754
- [131] Abdallah, I.B., Bouteraa, Y., and Rekik, C.: 'Web-based robot control for wrist telerehabilitation'. Proc. Control Engineering & Information Technology (CEIT), 2016 4th International Conference on, 2016, pp. 1-6
- [132] Wang, J., Zhang, Z., Li, B., Lee, S., and Sherratt, R.: 'An enhanced fall detection system for elderly person monitoring using consumer home networks', IEEE transactions on consumer electronics, 2014, 60, (1), pp. 23-29
- [133] Stone, E.E., and Skubic, M.: 'Fall detection in homes of older adults using the Microsoft Kinect', IEEE journal of biomedical and health informatics, 2015, 19, (1), pp. 290-301
- [134] Cheffena, M.: 'Fall detection using smartphone audio features', IEEE journal of biomedical and health informatics, 2016, 20, (4), pp. 1073-1080
- [135] Amin, M.G., Zhang, Y.D., Ahmad, F., and Ho, K.D.: 'Radar signal processing for elderly fall detection: The future for in-home monitoring', IEEE Signal Processing Magazine, 2016, 33, (2), pp. 71-80
- [136] Mukhopadhyay, S.C.: 'Wearable sensors for human activity monitoring: A review', IEEE sensors journal, 2015, 15, (3), pp. 1321-1330
- [137] Yao, L., Sheng, Q.Z., Li, X., Gu, T., Tan, M., Wang, X., Wang, S., and Ruan, W.: 'Compressive representation for device-free activity recognition with passive RFID signal strength', IEEE Transactions on Mobile Computing, 2018, 17, (2), pp. 293-306
- [138] Cook, D.J., Schmitter-Edgecombe, M., and Dawadi, P.: 'Analyzing activity behavior and movement in a naturalistic environment using smart home techniques', IEEE journal of biomedical and health informatics, 2015, 19, (6), pp. 1882-1892
- [139] Li, L.Y., Bai, R., Xie, B., Peng, Y., Wang, A., Wanga, W., Jiang, B., Liang, J., and Chen, X.J.: 'R&P: An Low-cost Device-free Activity Recognition for E-Health', IEEE Access, 2017
- [140] Yassine, A., Singh, S., and Alamri, A.: 'Mining human activity patterns from smart home big data for health care applications', IEEE Access, 2017, 5, pp. 13131-13141
- [141] Gavrilova, M.L., Wang, Y., Ahmed, F., and Paul, P.P.: 'Kinect Sensor Gesture and Activity Recognition: New Applications for Consumer Cognitive Systems', IEEE Consumer Electronics Magazine, 2018, 7, (1), pp. 88-94
- [142] Barshan, B., and Yurtman, A.: 'Investigating inter-subject and inter-activity variations in activity recognition using wearable motion sensors', The Computer Journal, 2016, 59, (9), pp. 1345-1362
- [143] Hbali, Y., Hbali, S., Ballihi, L., and Sadgal, M.: 'Skeleton-based human activity recognition for elderly monitoring systems', IET Computer Vision, 2017, 12, (1), pp. 16-26
- [144] Chen, Z., Zhu, Q., Soh, Y.C., and Zhang, L.: 'Robust Human Activity Recognition Using Smartphone Sensors via CT-PCA and Online SVM', IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017, 13, (6), pp. 3070-3080
- [145] Manzi, A., Fiorini, L., Limosani, R., Dario, P., and Cavallo, F.: 'Two-person activity recognition using skeleton data', IET Computer Vision, 2017, 12, (1), pp. 27-35

- [146] Abbasi-Kesbi, R., Nikfarjam, A., and Memarzadeh-Tehran, H.: 'A patient-centric sensory system for in-home rehabilitation', *IEEE Sensors Journal*, 2017, 17, (2), pp. 524-533
- [147] Dowling, A.V., Barzilay, O., Lombrozo, Y., and Wolf, A.: 'An adaptive home-use robotic rehabilitation system for the upper body', *IEEE journal of translational engineering in health and medicine*, 2014, 2, pp. 1-10
- [148] Biggar, S., and Yao, W.: 'Design and evaluation of a soft and wearable robotic glove for hand rehabilitation', *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2016, 24, (10), pp. 1071-1080
- [149] Rahman, M.A.: 'Demo Abstract: Gesture-Based Cyber-Physical In-Home Therapy System in a Big Data Environment'. *Proc. Cyber-Physical Systems (ICCPs)*, 2016 ACM/IEEE 7th International Conference on, 2016, pp. 1-1
- [150] Pirovano, M., Mainetti, R., Baud-Bovy, G., Lanzi, P.L., and Borghese, N.A.: 'Intelligent game engine for rehabilitation (iger)', *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 2016, 8, (1), pp. 43-55
- [151] Villeneuve, E., Harwin, W., Holderbaum, W., Janko, B., and Sherratt, R.S.: 'Reconstruction of Angular Kinematics From Wrist-Worn Inertial Sensor Data for Smart Home Healthcare', *IEEE Access*, 2017, 5, pp. 2351-2363
- [152] Shahbazi, M., Atashzar, S.F., Tavakoli, M., and Patel, R.V.: 'Robotics-assisted mirror rehabilitation therapy: a therapist-in-the-loop assist-as-needed architecture', *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2016, 21, (4), pp. 1954-1965
- [153] Stirling, L., and MacLean, J.: 'Roadmap for the development of at-home telemonitoring systems to augment occupational therapy', *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 2016, 46, (4), pp. 569-580
- [154] Bisio, I., Delfino, A., Lavagetto, F., and Sciarrone, A.: 'Enabling IoT for in-home rehabilitation: accelerometer signals classification methods for activity and movement recognition', *IEEE Internet of Things Journal*, 2017, 4, (1), pp. 135-146
- [155] Rosner, D., Jurba, A.-T., Tataroiu, R., Ilas, C., Vasile, S., and Matei, S.: 'Wearable Medication Reminder Architecture Enhancement: Focus Group Based Assessment and Scenario Based Testing'. *Proc. Control Systems and Computer Science (CSCS)*, 2015 20th International Conference on, 2015, pp. 279-284
- [156] Fallahzadeh, R., Minor, B., Evangelista, L.S., Cook, D.J., and Ghasemzadeh, H.: 'Mobile sensing to improve medication adherence: demo abstract'. *Proc. Proceedings of the 16th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, 2017, pp. 279-280
- [157] Mondol, M.A.S., Emi, I.A., and Stankovic, J.A.: 'MedRem: an interactive medication reminder and tracking system on wrist devices'. *Proc. Wireless Health*, 2016, pp. 46-53
- [158] Bai, Y.-W., and Kuo, T.-H.: 'Medication adherence by using a hybrid automatic reminder machine'. *Proc. Consumer Electronics (ICCE)*, 2016 IEEE International Conference on, 2016, pp. 573-574
- [159] Ramljak, M.: 'Smart Home Medication Reminder System'. *Proc. SoftCOM 2017-25th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, 2017, pp.
- [160] Baranyi, R., Rainer, S., Schlossarek, S., Lederer, N., and Grechenig, T.: 'Visual Health Reminder: A Reminder for Medication Intake and Measuring Blood Pressure to Support Elderly People'. *Proc. Healthcare Informatics (ICHI)*, 2016 IEEE International Conference on, 2016, pp. 432-438

- [161] Alam, M.G.R., Haw, R., Kim, S.S., Azad, M.A.K., Abedin, S.F., and Hong, C.S.: 'EM-Psychiatry: an ambient intelligent system for psychiatric emergency', IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2016, 12, (6), pp. 2321-2330
- [162] Wang, H., Gong, J., Zhuang, Y., Shen, H., and Lach, J.: 'Healthedge: Task scheduling for edge computing with health emergency and human behavior consideration in smart homes'. Proc. Networking, Architecture, and Storage (NAS), 2017 International Conference on, 2017, pp. 1-2
- [163] Alam, M.G.R., Haw, R., and Hong, C.S.: 'Emergency psychiatric state prediction for ambient assisted living'. Proc. Consumer Electronics (ICCE), 2015 IEEE International Conference on, 2015, pp. 220-221
- [164] Mogale, T., Silva, B., and Hancke, G.P.: 'A portable IR-UWB based WSN for personnel tracking in emergency scenarios'. Proc. Industrial Informatics (INDIN), 2016 IEEE 14th International Conference on, 2016, pp. 961-965
- [165] Pequeno, R., Carvalho, N., Galdino, K., de Almeida, C., Maior, L., Polanski, B., Medeiros, G., Ferreira, F., and Laisa, J.: 'A portable system to support electrocardiography in emergency care'. Proc. Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2015 IEEE 28th International Symposium on, 2015, pp. 256-257
- [166] Eksen, K., Serif, T., Ghinea, G., and Grønli, T.-M.: 'InLoc: Location-aware emergency evacuation assistant'. Proc. Computer and Information Technology (CIT), 2016 IEEE International Conference on, 2016, pp. 50-56
- [167] Qushem, U.B., Dahlan, A.R.B.A., and Ghani, A.S.B.M.: 'My Emergency Assistant Device: A Conceptual Solution in Enhancing the Quality of Life for the Disabled and Elderly'. Proc. Information and Communication Technology for The Muslim World (ICT4M), 2016 6th International Conference on, 2016, pp. 82-87
- [168] Wu, L., Lu, J., Zhang, T., and Gong, J.: 'Robot-assisted intelligent emergency system for individual elderly independent living'. Proc. Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2016, 2016, pp. 628-633
- [169] Larkai, D.L., and Wu, R.: 'Wireless Heart Rate Monitor in Personal Emergency Response System'. Proc. Design and Diagnostics of Electronic Circuits & Systems (DDECS), 2015 IEEE 18th International Symposium on, 2015, pp. 299-300
- [170] Inibhunu, C., Schauer, A., Redwood, O., Clifford, P., and McGregor, C.: 'The impact of Gender, Medical History and Vital Status on Emergency Visits and'
- [171] Hamida, S.T.-B., and Ahmed, B.: 'A remote deep sleep monitoring system based on a single channel for in-home insomnia diagnosis'. Proc. New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2015 7th International Conference on, 2015, pp. 1-2
- [172] Satat, G., Ramchander, K., and Raskar, R.: 'Identi-wheez—a Device for in-Home Diagnosis of Asthma'. Proc. Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016 IEEE 38th Annual International Conference of the, 2016, pp. 4375-4378
- [173] Karakostas, A., Lazarou, I., Meditskos, G., Stavropoulos, T.G., Kompatsiaris, I., and Tsolaki, M.: 'Intelligent User Interfaces to Support Diagnosis and Assessment of People with Dementia: An Expert Evaluation'. Proc. International Symposium on Pervasive Computing Paradigms for Mental Health, 2015, pp. 196-206
- [174] Wolska-Kuśnierz, B., Mikołuc, B., and Bernatowska, E.: 'Implementation of home measurement of CRP levels in diagnosis and monitoring of children with autoinflammatory diseases', Pediatric Rheumatology, 2015, 13, (1), pp. P159

- [175] Banhiran, W., Chotinaiwattarakul, W., Chongkolwatana, C., and Metheetrairut, C.: ‘Home-based diagnosis of obstructive sleep apnea by polysomnography type 2: accuracy, reliability, and feasibility’, *Sleep and Breathing*, 2014, 18, (4), pp. 817-823
- [176] Guerrero-Contreras, G., and Miró, E.: ‘Designing New Low-Cost Home-Oriented Systems for Monitoring and Diagnosis of Patients with Sleep Apnea-Hypopnea’. *Proc. ICTs for Improving Patients Rehabilitation Research Techniques: Second International Workshop, REHAB 2014, Oldenburg, Germany, May 20-23, 2014, Revised Selected Papers*, 2015, pp. 210
- [177] Callegari, D., Conte, E., Ferreto, T., Fernandes, D., Moraes, F., Burmeister, F., and Severino, R.: ‘EpiCare—A home care platform based on mobile cloud computing to assist epilepsy diagnosis’. *Proc. Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth), 2014 EAI 4th International Conference on*, 2014, pp. 148-151
- [178] Chen, J., Nichols, D., Brokaw, E.B., and Lum, P.S.: ‘Home-based Therapy after Stroke Using the Hand Spring Operated Movement Enhancer (HandSOME)’, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2017, 25, (12), pp. 2305-2312
- [179] Huang, J., Tu, X., and He, J.: ‘Design and evaluation of the RUPERT wearable upper extremity exoskeleton robot for clinical and in-home therapies’, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2016, 46, (7), pp. 926-935
- [180] Rahman, M.A., and Alelaiwi, A.: ‘A synchronized multimedia in-home therapy framework in big data environment’. *Proc. Multimedia & Expo Workshops (ICMEW), 2016 IEEE International Conference on*, 2016, pp. 1-6
- [181] Rahman, M.A., and Hossain, M.S.: ‘m-Therapy: A Multi-sensor Framework for in-home Therapy Management: A Social Therapy of Things Perspective’, *IEEE Internet of Things Journal*, 2017
- [182] Rybarczyk, Y.P., and de Jesus Goncalves, M.: ‘WebLisling: A Web-based Therapeutic Platform for the Rehabilitation of Aphasic Patients’, *IEEE Latin America Transactions*, 2016, 14, (8), pp. 3921-3927
- [183] Calyam, P., Jahnke, I., Mishra, A., Antequera, R.B., Chemodanov, D., and Skubic, M.: ‘Toward an ElderCare Living Lab for Sensor-Based Health Assessment and Physical Therapy’, *IEEE Cloud Computing*, 2017, 4, (3), pp. 30-39
- [184] Pullano, S.A., Mahbub, I., Bianco, M.G., Shamsir, S., Islam, S.K., Gaylord, M.S., Lorch, V., and Fiorillo, A.S.: ‘Medical Devices for Paediatric Apnea Monitoring and Therapy: Past and New Trends’, *IEEE reviews in biomedical engineering*, 2017
- [185] Jankowski, N., Schönijahn, L., and Wahl, M.: ‘Telemonitoring in Home Care: Creating the Potential for a Safer Life at Home’, in Kollak, I. (Ed.): ‘Safe at Home with Assistive Technology’ (Springer International Publishing, 2017), pp. 81-93
- [186] Bashi, N., Karunanithi, M., Fatehi, F., Ding, H., and Walters, D.: ‘Remote monitoring of patients with heart failure: an overview of systematic reviews’, *Journal of medical Internet research*, 2017, 19, (1)
- [187] Yao, J., Weaver, E.M., Langley, B.D., George, S.M., and Hardin, S.R.: ‘Monitoring peripheral edema of heart failure patients at home: Device, algorithm, and clinic study’. *Proc. Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2017 39th Annual International Conference of the IEEE*, 2017, pp. 4074-4077
- [188] Ruan, Y., Wilinska, M.E., Thabit, H., and Hovorka, R.: ‘Modeling day-to-day variability of glucose–insulin regulation over 12-week home use of closed-loop insulin delivery’, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2017, 64, (6), pp. 1412-1419

- [189] ‘How do you breathe—a non-contact monitoring method using depth data’. Proc. 2017 IEEE 19th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 12-15 Oct. 2017 of Conference, pp. 2-5
- [190] Panicker, N.V., and Kumar, A.S.: ‘Development of a blood pressure monitoring system for home health application’. Proc. Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2015 International Conference on, 2015, pp. 1-4
- [191] Tang, Z., Tamura, T., Sekine, M., Huang, M., Chen, W., Yoshida, M., Sakatani, K., Kobayashi, H., and Kanaya, S.: ‘A Chair-Based Unobtrusive Cuffless Blood Pressure Monitoring System Based on Pulse Arrival Time’, IEEE journal of biomedical and health informatics, 2017, 21, (5), pp. 1194-1205
- [192] Lee, S., and Chang, J.-H.: ‘Deep Boltzmann Regression With Mimic Features for Oscillometric Blood Pressure Estimation’, IEEE Sensors Journal, 2017, 17, (18), pp. 5982-5993
- [193] Marcon, E., Chaabane, S., Saliez, Y., Bonte, T., and Trentesaux, D.: ‘A multi-agent system based on reactive decision rules for solving the caregiver routing problem in home health care’, Simulation Modelling Practice and Theory, 2017, 74, pp. 134-151
- [194] Garripoli, C., Mercuri, M., Karsmakers, P., Soh, P.J., Crupi, G., Vandenbosch, G.A., Pace, C., Leroux, P., and Schreurs, D.: ‘Embedded DSP-based telehealth radar system for remote in-door fall detection’, IEEE journal of biomedical and health informatics, 2015, 19, (1), pp. 92-101
- [195] Benson, K., Fracchia, C., Wang, G., Zhu, Q., Almomen, S., Cohn, J., D’arcy, L., Hoffman, D., Makai, M., and Stamatakis, J.: ‘Scale: Safe community awareness and alerting leveraging the internet of things’, IEEE Communications Magazine, 2015, 53, (12), pp. 27-34
- [196] Alahmadi, A., and Soh, B.: ‘A smart approach towards a mobile e-health monitoring system architecture’. Proc. Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS), 2011 International Conference on, 2011, pp. 1-5
- [197] Han, J., Yun, J., Jang, J., and Park, K.-R.: ‘User-friendly home automation based on 3D virtual world’, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56, (3)
- [198] Amiribesheli, M., Benmansour, A., and Bouchachia, A.: ‘A review of smart homes in healthcare’, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2015, 6, (4), pp. 495-517
- [199] Yu, X., Wang, C., and Yang, B.: ‘Activity recognition based on importance degree reduction of decision table’. Proc. 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC), 2017, pp. 7242-7245
- [200] Amiribesheli, M., and Bouchachia, H.: ‘A tailored smart home for dementia care’, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2018, 9, (6), pp. 1755-1782
- [201] Shah, S.A., Velardo, C., Farmer, A., and Tarassenko, L.: ‘Exacerbations in chronic obstructive pulmonary disease: identification and prediction using a digital health system’, Journal of medical Internet research, 2017, 19, (3), pp. e69
- [202] Cimperman, M., Brenčič, M.M., and Trkman, P.: ‘Analyzing older users’ home telehealth services acceptance behavior—applying an Extended UTAUT model’, International journal of medical informatics, 2016, 90, pp. 22-31
- [203] Ducange, P., Marcelloni, F., and Antonelli, M.: ‘A novel approach based on finite-state machines with fuzzy transitions for nonintrusive home appliance monitoring’, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10, (2), pp. 1185-1197
- [204] Horiuchi, H., Saiki, S., Matsumoto, S., and Nakamura, M.: ‘Designing and implementing service framework for virtual agents in home network system’. Proc. Software Engineering,

- Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), 2014 15th IEEE/ACIS International Conference on, 2014, pp. 1-6
- [205] Okour, S., Maeder, A., and Basilakis, J.: 'An adaptive rule-based approach to classifying activities of daily living'. Proc. Healthcare Informatics (ICHI), 2015 International Conference on, 2015, pp. 404-407
- [206] Al-Salim, K., Andonovic, I., and Michie, C.: 'A finite state based residential demand generator for scarce statistical data scenarios'. Proc. Renewable Energy Congress (IREC), 2015 6th International, 2015, pp. 1-6
- [207] de Morais, W.O., and Wickstrom, N.: 'A lightweight method for detecting sleep-related activities based on load sensing'. Proc. Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2014 IEEE 3rd International Conference on, 2014, pp. 1-7
- [208] Nguyen, H., Ciocarlie, M., Hsiao, K., and Kemp, C.C.: 'Ros commander (rosco): Behavior creation for home robots'. Proc. Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on, 2013, pp. 467-474
- [209] Langensiepen, C., Lotfi, A., and Puteh, S.: 'Activities recognition and worker profiling in the intelligent office environment using a fuzzy finite state machine'. Proc. Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2014 IEEE International Conference on, 2014, pp. 873-880
- [210] Teixeira, T., Jung, D., Dublon, G., and Savvides, A.: 'Recognizing activities from context and arm pose using finite state machines'. Proc. Distributed Smart Cameras, 2009. ICDSC 2009. Third ACM/IEEE International Conference on, 2009, pp. 1-8
- [211] Shi, L., Li, Z., and Zhang, J.: 'Research on personality behavior in intelligent virtual environment'. Proc. Intelligent Control and Automation (WCICA), 2012 10th World Congress on, 2012, pp. 769-772
- [212] Kaltiokallio, O., Bocca, M., and Patwari, N.: 'Follow@ grandma: Long-term device-free localization for residential monitoring'. Proc. Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops), 2012 IEEE 37th Conference on, 2012, pp. 991-998
- [213] Galiano, A., Massaro, A., Boussahel, B., Barbuzzi, D., Tarulli, F., Pellicani, L., Renna, L., Guarini, A., De Tullio, G., and Nardelli, G.: 'Improvements in haematology for home health assistance and monitoring by a web based communication system'. Proc. Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2016 IEEE International Symposium on, 2016, pp. 1-5
- [214] Roy, S., Rahman, A., Helal, M., Kaiser, M.S., and Chowdhury, Z.I.: 'Low cost RF based online patient monitoring using web and mobile applications'. Proc. Informatics, Electronics and Vision (ICIEV), 2016 5th International Conference on, 2016, pp. 869-874
- [215] Solana, J., Cáceres, C., García-Molina, A., Opisso, E., Roig, T., Tormos, J.M., and Gómez, E.J.: 'Improving brain injury cognitive rehabilitation by personalized telerehabilitation services: Guttmann neuropsychological trainer', IEEE journal of biomedical and health informatics, 2015, 19, (1), pp. 124-131
- [216] Holmberg, C., Hakansson, S., and Eriksson, G.: 'Web real-time communication use cases and requirements', 2015
- [217] Bose, J., Dipin, K., Nagaraju, S.P., and Vivek, V.: 'A two way emergency medical monitoring system with a computing device fitted on a rotating holder'. Proc. India Conference (INDICON), 2012 Annual IEEE, 2012, pp. 597-602
- [218] Pavón-Pulido, N., López-Riquelme, J.A., Pinuaga-Cascales, J.J., Ferruz-Melero, J., and dos Santos, R.M.: 'Cybi: A Smart Companion robot for elderly people: Improving teleoperation and telepresence skills by combining cloud computing technologies and fuzzy logic'. Proc.

- Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), 2015 IEEE International Conference on, 2015, pp. 198-203
- [219] El Jaouhari, S., Bouabdallah, A., Bonnin, J.-M., and Lemlouma, T.: 'Toward a smart health-care architecture using WebRTC and WoT'. Proc. World Conference on Information Systems and Technologies, 2017, pp. 531-540
- [220] Moustafa, H., Schooler, E.M., Shen, G., and Kamath, S.: 'Remote monitoring and medical devices control in eHealth'. Proc. Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2016 IEEE 12th International Conference on, 2016, pp. 1-8
- [221] Pierleoni, P., Pernini, L., Palma, L., Belli, A., Valenti, S., Maurizi, L., Sabbatini, L., and Marroni, A.: 'An innovative WebRTC solution for e-Health services'. Proc. e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 2016 IEEE 18th International Conference on, 2016, pp. 1-6
- [222] Tiberkak, A., Lemlouma, T., Belkhir, A., Bouabdallah, A., and Hentout, A.: 'A novel approach for generic home emergency management and remote monitoring', Software: Practice and Experience, 2018, 48, (4), pp. 761-774
- [223] Gupta, H., Vahid Dastjerdi, A., Ghosh, S.K., and Buyya, R.: 'iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments', Software: Practice and Experience, 2017, 47, (9), pp. 1275-1296
- [224] Romero, D., Hermosillo, G., Taherkordi, A., Nzekwa, R., Rouvoy, R., and Eliassen, F.: 'The DigiHome Service-Oriented Platform', Software: Practice and Experience, 2013, 43, (10), pp. 1205-1218
- [225] Leotta, F., and Mecella, M.: 'PLaTHEA: a marker-less people localization and tracking system for home automation', Software: Practice and Experience, 2015, 45, (6), pp. 801-835
- [226] Rosenberg, J.: 'Interactive connectivity establishment (ICE): A protocol for network address translator (NAT) traversal for offer/answer protocols', 2010
- [227] Tiberkak, A., and Belkhir, A.: 'tinyUPnP usage for home medical equipments control: case study diabetes management'. Proc. Computer Applications and Information Systems (WCCAIS), 2014 World Congress on, 2014, pp. 1-4
- [228] Presser, A., Farrell, L., Kemp, D., and Lupton, W.: 'Upnp device architecture 1.1'. Proc. UPnP Forum, 2008, pp.
- [229] Coma, C., Cuppens-Boulahia, N., Cuppens, F., and Cavalli, A.R.: 'Interoperability of context based system policies using O2O contract'. Proc. Signal Image Technology and Internet Based Systems, 2008. SITIS'08. IEEE International Conference on, 2008, pp. 137-144
- [230] Gomi, H.: 'User-centric identity governance across domain boundaries'. Proc. Proceedings of the 5th ACM workshop on Digital identity management, 2009, pp. 35-44
- [231] Owusu, G., Voudouris, C., Dorne, R., Ladde, C., Anim-Ansah, G., Gasson, K., and Connolly, G.: 'ARMS—application of AI and OR methods to resource management', BT Technology Journal, 2003, 21, (4), pp. 27-32
- [232] Skillen, K.-L., Chen, L., Nugent, C.D., Donnelly, M.P., and Solheim, I.: 'A user profile ontology based approach for assisting people with dementia in mobile environments'. Proc. Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE, 2012, pp. 6390-6393
- [233] Heil, A., and Gaedke, M.: 'Environment-Awareness: Quantitative Processing of Context Changes'. Proc. Pervasive Computing and Communications, 2008. PerCom 2008. Sixth Annual IEEE International Conference on, 2008, pp. 423-428

- [234] Kim, S., Park, S., Lee, J., Jin, Y., Park, H.-m., Chung, A., Choi, S., and Choi, W.: ‘Sensible appliances: applying context-awareness to appliance design’, *Personal and Ubiquitous Computing*, 2004, 8, (3-4), pp. 184-191
- [235] Lei, H.: ‘Context awareness: a practitioner’s perspective’. *Proc. Ubiquitous Data Management*, 2005. UDM 2005. International Workshop on, 2005, pp. 43-52
- [236] Ma, Z., Qiao, Y., Lee, B., and Fallon, E.: ‘Experimental evaluation of mobile phone sensors’, 2013
- [237] Baskett, P., Shang, Y., Patterson, M.V., and Trull, T.: ‘Towards a system for body-area sensing and detection of alcohol craving and mood dysregulation’. *Proc. Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, 2013 IEEE, 2013, pp. 875-876
- [238] Tiberkak, A., Lemlouma, T., and Belkhir, A.: ‘Relative-Identity Management Based on Context’. *Proc. International Conference on Human-Computer Interaction*, 2014, pp. 322-327
- [239] Wang, Y.: ‘Using process algebra to describe human and software behaviors’, *Brain and Mind*, 2003, 4, (2), pp. 199-213
- [240] Tiberkak, A., Hentout, A., Belkhir, A., Lemlouma, T., and Bouabdallah, A.: ‘Set Theory-based FSM for Managing Home Emergencies Concept, Properties and Process Algebra’. *Proc. 2018 3rd International Conference on Pattern Analysis and Intelligent Systems (PAIS)*, 2018, pp. 1-8
- [241] Standard, O., ‘Web Services Business Process Execution Language Version 2.0’, <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>, accessed 12 janvier 2018
- [242] Jean Bedard, R.S.: ‘Temperature and humidity monitoring systems for fixed storage areas’, 2014
- [243] Hartrick, C.T., Kovan, J.P., and Shapiro, S.: ‘The numeric rating scale for clinical pain measurement: a ratio measure?’, *Pain Practice*, 2003, 3, (4), pp. 310-316
- [244] Standard, A.: ‘Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers’, 2010
- [245] Mealy, G.H.: ‘A method for synthesizing sequential circuits’, *Bell Labs Technical Journal*, 1955, 34, (5), pp. 1045-1079
- [246] Group, O.: ‘OMG Unified Modeling Language (OMG UML), Superstructure’, Open Management Group, 2009
- [247] Androutopoulos, K., Clark, D., Harman, M., Hierons, R.M., Li, Z., and Tratt, L.: ‘Amorphous slicing of extended finite state machines’, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2013, 39, (7), pp. 892-909
- [248] Tribastone, M.: ‘Behavioral relations in a process algebra for variants’. *Proc. Proceedings of the 18th International Software Product Line Conference-Volume 1*, 2014, pp. 82-91
- [249] Hoare, C.A.R.: ‘Communicating sequential processes’, *Communications of the ACM*, 1978, 21, (8), pp. 666-677
- [250] Hennessy, M.C.: ‘An Introduction to a Calculus of Communicating Systems’: ‘New Advances in Distributed Computer Systems’ (Springer, 1982), pp. 245-262
- [251] Bergstra, J.A., and Klop, J.W.: ‘Algebra of communicating processes’, *CWI Monograph series*, 1986, 3, pp. 89-138
- [252] Bolognesi, T., and Brinksma, E.: ‘Introduction to the ISO specification language LOTOS’, *Computer Networks and ISDN systems*, 1987, 14, (1), pp. 25-59
- [253] Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., and Georgakopoulos, D.: ‘Context aware computing for the internet of things: A survey’, *IEEE communications surveys & tutorials*, 2014, 16, (1), pp. 414-454

- [254] Raggett, D.: ‘The web of things: Challenges and opportunities’, *Computer*, 2015, 48, (5), pp. 26-32
- [255] Jin, Z., and Chen, Y.: ‘Telemedicine in the cloud era: Prospects and challenges’, *IEEE Pervasive Computing*, 2015, 14, (1), pp. 54-61
- [256] google, ‘WebRTC Project’, <https://webrtc.org/native-code/development/>, accessed 12 janvier 2018
- [257] karl-ellis, n., phobosk, ‘WebcamStudio for GNU/Linux’, <https://sourceforge.net/projects/webcamstudio/>, accessed 12 janvier 2018
- [258] Yidong Fang, C.N., Dave Hughes, ‘json-simple’, <https://github.com/fangyidong/json-simple>, accessed 12 janvier 2018
- [259] team, T.G., ‘gst-launch-build and run a GStreamer pipeline’, <http://manpages.ubuntu.com/manpages/xenial/man1/gst-launch-0.10.1.html>, accessed 12 janvier 2018
- [260] developers, T.L., ‘avconv - avconv video converter’, <http://manpages.ubuntu.com/manpages/precise/man1/avconv.1.html>, accessed 12 janvier 2018
- [261] Alexander, B., Hsiao, K., Jenkins, C., Suay, B., and Toris, R.: ‘Robot web tools [ros topics]’, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2012, 19, (4), pp. 20-23
- [262] Zone, I.D., ‘Intel® Collaboration Suite for WebRTC (Intel® CS for WebRTC)’, <https://software.intel.com/en-us/webrtc-sdk>
- [263] google, ‘Prerequisite Software | WebRTC’, <https://webrtc.org/native-code/development/prerequisite-sw/>, accessed jui. 20, 2019