



Etude d'une méthodologie pour la construction d'un système de télésurveillance médicale : application à une plateforme dédiée au maintien et au suivi à domicile de personnes atteintes d'insuffisance cardiaque

Amine Ahmed Benyahia

► To cite this version:

Amine Ahmed Benyahia. Etude d'une méthodologie pour la construction d'un système de télésurveillance médicale : application à une plateforme dédiée au maintien et au suivi à domicile de personnes atteintes d'insuffisance cardiaque. Modélisation et simulation. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2015. Français. NNT : 2015BELF0258 . tel-01492925

HAL Id: tel-01492925

<https://theses.hal.science/tel-01492925>

Submitted on 20 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



SPIM

Thèse de Doctorat



école doctorale sciences pour l'ingénieur et microtechniques

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE BELFORT-MONTBÉLIARD

Etude d'une méthodologie pour la construction d'un système de télésurveillance médicale

application à une plateforme dédiée au maintien et au suivi à
domicile de personnes atteintes d'insuffisance cardiaque



AMINE AHMED BENYAHIA

SPIM

Thèse de Doctorat



école doctorale sciences pour l'ingénieur et microtechniques
UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE BELFORT-MONTBÉLIARD

N° 2 5 8

THÈSE présentée par

AMINE AHMED BENYAHIA

pour obtenir le

Grade de Docteur de

l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

Spécialité : **Informatique**

Etude d'une méthodologie pour la construction d'un système de télésurveillance médicale

application à une plateforme dédiée au maintien et au suivi à domicile de
personnes atteintes d'insuffisance cardiaque

Unité de Recherche :

Institut de Recherche sur les Transports, l'Énergie et la Société (IRTES)

Soutenue publiquement le 27 avril 2015 devant le Jury composé de :

NADA MATTÀ	Rapporteur	ECC-HDR, UTT
MICHEL HASSENFORDER	Rapporteur	Professeur des Universités, UHA
PARISA GHODOUS	Examineur	Professeur des Universités, Lyon 1
VINCENT HILAIRE	Directeur de thèse	Professeur des Universités, UTBM
AMIR HAJJAM EL HASSANI	Co-directeur de thèse	Maître de conférences HDR, UTBM

REMERCIEMENTS

Cette thèse doit beaucoup aux nombreuses personnes qui m'ont encouragé, soutenu et conforté au long de toutes ces années. Qu'elles trouvent dans ce travail l'expression de mes plus sincères remerciements.

Je tiens tout d'abord à remercier les co-directeurs de ce travail de thèse. Je remercie M. Vincent Hilaire et M. Amir Hajjam pour avoir accepté d'encadrer cette thèse, leur aide précieuse dans la relecture et la correction de ma thèse et pour son suivi toute la durée de cette thèse.

Mes sentiments chaleureux de gratitude et de remerciements à M. Mohamed Hajjam, directeur de Newel Informatique où j'ai passé 3 agréables années, qui m'a fourni une assistance et des conseils précieux tout au long de cette expérience avec beaucoup de patience, de savoirs et d'écoute.

Je tiens à remercier les partenaires du projet E-care et spécialement M. Samy Talha et Emmanuel Andrès pour leur apport en matière d'expertise médical et leur implication dans cette thèse.

J'aimerais remercier l'équipe Newel qui m'a accompagnée et m'a soutenu, et les moments inoubliables qui ont marqué nos merveilleuses trois ans passées ensemble. Je remercie également toutes les équipes administratives de l'UTBM qui ont assuré le bon déroulement de cette thèse.

Merci à tout mon entourage, famille et amis, qui m'ont soutenu durant ces dernières années.

Enfin, je tiens à dédier cette étape modeste à mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés et m'ont donné de l'énergie et leur soutien tout au long de cette thèse.

SOMMAIRE

1	Introduction	1
1.1	La télémédecine	1
1.1.1	Enjeux médicaux	2
1.1.2	Enjeux économiques	3
1.1.3	Enjeux sociétaux	3
1.1.4	Freins	4
1.2	Télésurveillance médicale	4
1.3	Problématiques dans la télésurveillance médicale	6
1.3.1	Les limites des systèmes existants	6
1.3.2	Notre approche	6
1.4	Contexte applicatif	7
1.4.1	Généralités sur l'insuffisance cardiaque	7
1.5	Projet E-care	8
1.6	Organisation de la thèse	9
2	État de l'art	11
2.1	Introduction	12
2.2	Les systèmes de télésurveillance médicale	13
2.2.1	Module patient	13
2.2.2	Module serveur	14
2.3	Ontologies	14
2.3.1	Définition	14
2.3.2	Apport des ontologies	15
2.3.3	Apport des ontologies dans le domaine de la santé	16

2.3.4	Types d'ontologies	17
2.3.4.1	Classification selon le niveau de formalisation	17
2.3.4.2	Classification selon l'objet de conceptualisation	17
2.3.5	Langages ontologiques	19
2.3.5.1	RDF	19
2.3.5.2	RDF Schema (RDFS)	19
2.3.5.3	OWL	19
2.3.6	PROTÉGÉ	20
2.3.7	Méthode de construction d'ontologie	21
2.3.7.1	Méthode de Gomez-Perez	21
2.3.7.2	La méthodologie d'Ushold et Kings	21
2.3.7.3	METHONTOLOGY	22
2.3.7.4	On-To-Knowledge	23
2.3.7.5	ARCHONTE	23
2.4	Travaux connexes à la construction des ontologies de domaine médicales	24
2.4.1	Ressources terminologiques et ontologiques en médecine	24
2.4.1.1	CIM	24
2.4.1.2	MeSH	24
2.4.1.3	SNOMED	24
2.4.1.4	UMLS	25
2.4.1.5	DOLCE	25
2.4.2	Ontologies médicales	25
2.5	Système Multi-Agent	28
2.5.1	Définitions	28
2.5.2	Les Typologie des agents	29
2.5.2.1	Agents cognitifs	29
2.5.2.2	Agents réactifs	30
2.5.2.3	Agents hybrides ou mixtes	30
2.6	Comparaison de systèmes de télésurveillance médicale	30

2.6.1	Suivi des activités quotidiennes à domicile (domotique)	30
2.6.2	Suivi du comportement et l'état physiologique du patient	33
2.6.3	Synthèse	37
2.7	Conclusion	39
3	Méthodologie	41
3.1	Introduction	42
3.2	Aperçu de l'approche	43
3.3	Les principes généraux d'ASPECS	44
3.4	Analyse des besoins	46
3.4.1	Description du domaine	47
3.4.2	Description de l'ontologie du problème	47
3.4.3	Identification des organisations	48
3.4.4	Identification des interactions et des rôles	48
3.4.5	Description des scénarios	48
3.4.6	Plan des rôles	49
3.4.7	Identification de la capacité	49
3.5	Adaptation d'ASPECS à la télésurveillance médicale	49
3.5.1	Description de l'ontologie du problème	50
3.5.1.1	Spécification	50
3.5.1.2	Modélisation	51
3.5.1.3	Formalisation	51
3.5.1.4	Test d'incohérence	52
3.5.1.5	Évaluation	53
3.5.2	Définir les concepts à décrire avec des ontologies de domaine	53
3.5.3	Description des ontologies de domaine	54
3.5.3.1	Définition du but de l'ontologie	55
3.5.3.2	Étude des ressources disponible	55
3.5.3.3	Identification des termes importants dans l'ontologie	56

3.5.3.4	Définition des classes et la hiérarchie des classes	56
3.5.3.5	Définition des propriétés des classes et des attributs	57
3.5.3.6	Définition des axiomes et des restrictions sur les propriétés et les attributs	58
3.5.3.7	Création des instances	59
3.5.3.8	Test d'inconsistance et d'incohérence	59
3.5.3.9	Évaluation	59
3.5.4	Création de liens entre les deux types d'ontologies	59
3.5.5	Description du système expert	60
3.6	Conclusion	63
4	Projet E-care	65
4.1	Introduction	66
4.2	Description du domaine	67
4.3	Description de l'ontologie du problème	68
4.3.1	Ontologie du problème générique	69
4.3.2	Ontologie du problème E-care	70
4.3.2.1	Modélisation	71
4.3.2.2	Formalisation	74
4.3.2.3	Test d'incohérence	75
4.3.2.4	Évaluation	75
4.4	Définition des concepts à représenter en ontologies de domaine	75
4.5	Construction des ontologies de domaine	77
4.5.1	Ontologie de domaine pour les antécédents	77
4.5.1.1	Étude des ressources existantes	77
4.5.1.2	Définir les classes et la hiérarchie des classes	78
4.5.1.3	Définir les propriétés des classes – attributs	78
4.5.1.4	Définir les facettes des attributs	78
4.5.1.5	Créer les instances	78
4.5.1.6	Test d'inconsistance et d'incohérence	79

4.5.1.7	Évaluation	79
4.5.1.8	Évolution	79
4.5.2	Ontologie de domaine pour l'historique des médicaments	79
4.5.2.1	Étude des ressources existantes	80
4.5.2.2	Définir les classes et la hiérarchie des classes	80
4.5.2.3	Définir les propriétés des classes – attributs	81
4.5.2.4	Définir les facettes des attributs	81
4.5.2.5	Créer les instances	81
4.5.2.6	Test d'inconsistance et d'incohérence	81
4.5.2.7	Évaluation	81
4.5.2.8	Évolution	82
4.5.3	Ontologie de domaine pour les facteurs de risques cardiovasculaires	82
4.5.3.1	Étude des ressources existantes	82
4.5.3.2	Énumération des termes importants	83
4.5.3.3	Définition des classes et la hiérarchie des classes	83
4.5.3.4	Définir les propriétés des classes – attributs	83
4.5.3.5	Définir les facettes des attributs	84
4.5.3.6	Créer les instances	84
4.5.3.7	Test d'inconsistance et d'incohérence	84
4.5.3.8	Évaluation	84
4.5.3.9	Évolution	84
4.6	Définition des liens entre les ontologies de domaine et l'ontologie du problème	85
4.7	Description du système expert	85
4.8	Identification des organisations	87
4.9	Identification des rôles, leur plan et leurs scénarios	88
4.9.1	L'organisation Collecte et Transmission	88
4.9.2	L'organisation Traitement et accès aux données	89
4.9.3	L'organisation Stockage	90

4.10 Conclusion	90
5 Implémentation et expérimentation	93
5.1 Introduction	94
5.2 Architecture du projet E-care	95
5.2.1 Capteurs	96
5.2.2 Passerelle	96
5.2.3 Serveur d'application	99
5.2.3.1 Réceptions des données depuis la passerelle	99
5.2.3.2 Plateforme de données	99
5.2.3.3 Moteur d'inférences	100
5.2.3.4 Portail de service	100
5.2.4 Base de données	103
5.3 Tests et simulations du système	105
5.3.1 Test du système expert	106
5.3.1.1 Création des profils	106
5.3.1.2 Analyse des profils	106
5.3.1.3 Simulation dans le système expert	106
5.3.1.4 Comparaison des alertes	107
5.3.2 Etude d'un cas	107
5.3.2.1 Présentation du profile	107
5.3.2.2 Analyse du profil	108
5.3.2.3 Simulation dans le système E-care	108
5.3.2.4 Analyse	109
5.4 Expérimentation	110
5.4.1 Première expérimentation : un prototype déployé au CHRU de Strasbourg	110
5.4.2 Deuxième expérimentation : expérimentation à domicile	112
5.5 Conclusion	113

6 Conclusion et perspectives	115
6.1 Conclusion générale	116
6.2 Perspectives	119

INTRODUCTION

1.1/ LA TÉLÉMÉDECINE

La télémédecine, ou médecine à distance, n'est pas une idée nouvelle. C'est une forme de coopération dans l'exercice médical, mettant en rapport un patient et un ou plusieurs médecins, par le biais des technologies de l'information et de la communication. Pour l'Organisation Mondiale de la Santé (l'OMS), la télémédecine s'inscrit dans l'univers des professionnels de santé et elle permet d'apporter des services de santé, là où la distance et l'isolement sont des facteurs critiques.

Les applications de la télémédecine couvrent un domaine très large. Elles vont de la télémédecine "médicale", définie comme "une activité professionnelle qui met en œuvre des moyens de télécommunication numérique permettant à des médecins et d'autres membres du corps médical de réaliser à distance des actes médicaux pour des malades", à la télémédecine "informative", définie comme "un service de communication audiovisuelle interactif qui organise la diffusion du savoir médical et des protocoles de prise en charge des malades et des soins dans le but de soutenir et d'améliorer l'activité médicale". Selon le décret numéro 2010-1229 datant du 19 octobre 2010, il a été défini 5 champs d'application pour la télémédecine :

- La téléconsultation : le médecin donne une consultation à distance à un patient, lequel a la possibilité, s'il le souhaite, d'être assisté d'un professionnel de santé. Le patient, seul ou accompagné du professionnel, fournissent les informations et le médecin à distance pose un diagnostic.
- La téléexpertise : un médecin sollicite à distance l'avis d'un ou de plusieurs confrères sur la base d'informations médicales liées à la prise en charge d'un patient.
- La télésurveillance médicale : un médecin surveille et interprète à distance les paramètres médicaux d'un patient. L'enregistrement et la transmission des données peuvent être automatisées ou réalisées par le patient lui-même ou par un professionnel

de santé.

- La téléassistance médicale : un médecin assiste à distance un autre professionnel de santé au cours de la réalisation d'un acte.
- La réponse médicale apportée dans le cadre de la régulation médicale.

En France, on estime que 15 millions de personnes sont aujourd'hui atteintes d'une maladie chronique, et que ce nombre pourrait atteindre 20 millions dans 10 ans en raison de l'allongement de l'espérance de vie et des évolutions de style de vie. Les TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) peuvent contribuer à optimiser la prise en charge du patient tout en l'aidant à conserver une certaine autonomie dans la gestion de sa maladie (Bachelot-Narquin, 2010).

Cependant, la télémédecine va s'accompagner de contraintes organisationnelles, réglementaires, juridiques et déontologiques. En effet, il est nécessaire de mettre en place divers points importants, tels que : le consentement du patient, le respect absolu de la confidentialité, les changements organisationnels inhérents (travail médical collectif), la modification des modes de rémunération et enfin la mise en place de nouvelles responsabilités avec l'apparition des "tiers de confiance technologiques" qui seront co-responsables du fonctionnement du dispositif.

1.1.1/ ENJEUX MÉDICAUX

La télémédecine soulève, dans un premier temps, des enjeux médicaux pour les patients et pour les médecins. En effet, elle permet aux patients qui se déplacent, par exemple, d'une communauté à l'autre, de pouvoir être soignés correctement par des professionnels ayant un accès sécurisé à leurs données cliniques. Cette fonctionnalité autorise l'accès aux médicaments prescrits par n'importe quelle pharmacie, sans ordonnance papier, ce qui permet d'éviter les doubles examens. Les populations isolées, notamment dans les pays en développement et avec la baisse du nombre de personnels médicaux dans les hôpitaux ruraux et de praticiens dans certaines spécialités, se voient offrir par ce biais-là un accès aux soins plus rapide, moins coûteux et de meilleure qualité.

La télémédecine contribuera également à donner aux professionnels médicaux, jusque dans les zones les plus reculées, un niveau de connaissance leur permettant d'acquérir, par mutualisation des compétences, une formation continue de qualité sans qu'ils aient à se déplacer : une mise en complémentarité des compétences.

1.1.2/ ENJEUX ÉCONOMIQUES

La télémédecine offre, dans un deuxième temps, des enjeux économiques. La santé en ligne possède un gros potentiel de création de nouvelles entreprises avec à la clé la création de nouveaux emplois et des économies d'impôts pour les contribuables. C'est un marché de 15 milliards d'euros par an (Kroes, 2010). Ce marché représente plus d'un tiers du marché mondial économique (Chatzimarkakis, 2010).

L'enjeu économique principal pour la télémédecine est une réduction des frais liés aux hospitalisations ainsi qu'aux frais de déplacement. L'étude Mein Herz, menée en Allemagne, a montré une réduction de 50% des coûts directs liés à l'hospitalisation des patients et de 23% du coût global de prise en charge (Leurent et Schroeder, 2013). Au Pays-Bas, l'étude E-Cardiocare, quant à elle, a montré une diminution de 40% des durées d'hospitalisation (Leurent et Schroeder, 2013).

1.1.3/ ENJEUX SOCIÉTAUX

La télémédecine offre, dans un troisième temps, des enjeux sociétaux majeurs afin de faire face aux déserts médicaux dont la France est en proie ces dernières années. Nous avons également remarqué le vieillissement croissant de la population. D'ici 2050, les plus de 50 ans représenteront plus de 50% de la population Européenne et française. C'est pourquoi il est important d'accompagner ces personnes en leur offrant la meilleure qualité de vie possible, notamment, en leur permettant de vieillir dans leurs domiciles. Une étude a démontré que 91 des patients estiment en effet qu'il s'agit d'une bonne chose pour leur suivi médical. En parallèle, 68% des médecins jugent que la mise en place d'un dossier médical personnel informatisé et accessible par internet sera utile dans leur pratique quotidienne. (Sondage publié par le Conseil National de l'Ordre des Médecins – 3 juin 2009). De même, la messagerie professionnelle sécurisée et dédiée aux médecins leur permettrait de pouvoir échanger et communiquer en toute confidentialité.

Selon le rapport réalisé par Pierre Lasbordes "Télésanté : un nouvel atout au service de notre bien-être", publié en octobre 2009 (Lasbordes, 2009), il serait intéressant de mettre en place un portail institutionnel sanitaire et médico-social pour le grand public. Un tel portail permettrait, notamment, de pouvoir indiquer différents liens vers d'autres sites et donc permettre à tout le monde d'y accéder y compris les personnes handicapées avec des adaptations spécifiques.

1.1.4/ FREINS

Cependant, malgré les enjeux et les retombées pressenties, il reste encore de nombreux freins. Tout d'abord, il subsiste un problème d'ordre culturel. Les personnes qui appartiennent à une génération qui n'a pas été impliquée lors de l'émergence des NTIC aura peut-être du mal à reconnaître l'intérêt des nouvelles technologies et préférera d'autres alternatives plus proches culturellement.

On rencontre également un frein au niveau financier car il n'a pas encore été bien défini comment les frais seront remboursés. L'absence de modèle médico-économique, qui pourrait assurer une visibilité sur l'impact global de ces nouveaux modes de prise en charge dans l'évolution des dépenses de santé, entraîne également une difficulté à appréhender le poids économique des actes en faisant la part de ce qui relève de l'équipement technique de ce qui relève de la rémunération de l'acte médical proprement dit. Un des freins est également l'impossibilité de contrôler dans le cadre de la Classification Commune des Actes Médicaux (CCAM) les conditions de facturation de ces actes et donc la crainte d'un dérapage s'agissant d'une rémunération à l'acte. L'assurance maladie serait dans l'obligation de mettre en place de nombreux contrôles afin de pouvoir pallier à ce risque.

1.2/ TÉLÉSURVEILLANCE MÉDICALE

La télésurveillance médicale est un acte médical qui découle de la transmission et de l'interprétation par le personnel soignant d'un indicateur clinique, radiologique ou biologique, recueilli par le patient lui-même ou par un professionnel de santé. L'interprétation peut conduire à la décision d'une intervention auprès du patient (Simon et Acker, 2008).

La technologie nous permet de progresser vers un modèle centré sur le consommateur et qui s'intéresse essentiellement à l'amélioration de la qualité de vie des individus et au contrôle du coût total des soins de santé. En effet, un hébergement de services de santé personnels en ligne et des dispositifs ont été et sont actuellement encore développés pour étendre les soins au-delà des murs de l'hôpital et du cabinet médical traditionnels jusqu'au domicile des patients. Ces expériences permettent aux individus de prendre leurs responsabilités dans la gestion de leur propre santé et de leur propre bien être, tout en relâchant la pression sur le système de santé due aux visites inutiles et aux urgences (Bonfini et Parker, 2010). Elle peut être également un excellent outil pour l'accompagnement des situations de perte d'autonomie. Le "vivre chez soi" est en effet désormais un souhait de la plupart des citoyens qui peut être satisfait par la diffusion à grande échelle des gérontechnologies (Lasbordes, 2010).

Le but de la télésurveillance médicale à domicile est de promouvoir les auto-soins par la formation des patients, de manière à ce que ces derniers puissent prendre l'habitude de se surveiller eux-mêmes et qu'ils aient le pouvoir de jouer un rôle plus actif dans la gestion de la variation de leurs traitements journaliers. Cela va influencer le rôle de l'industrie, les délégués et les salariés de l'industrie du matériel médical devront être directement en contact avec les patients (exemple : implanter un dispositif personnalisé pour donner des informations sur le fonctionnement du dispositif et pour le réparer).

Les systèmes de télésurveillance médicale sont généralement composés en deux modules distants :

- Une unité locale, au niveau de chaque habitat, de traitement des signaux reçus des capteurs, de gestion d'une base de connaissances relative au patient, et à l'origine de l'émission de messages et d'alarmes.
- Un centre de télé-vigilance pour le traitement des messages et alarmes reçus des habitats ainsi qu'un ensemble d'acteurs (personne médical, patient et membre de sa famille) pouvant accéder à tout moment, après authentification et selon leurs privilèges, aux données du système.

La télésurveillance médicale apporte de nombreux bénéfices pour les patients et les professionnels de santé. L'enjeu majeur, qui découlera de la mise en place d'une télésurveillance médicale, sera l'amélioration du suivi des patients. Ceci permettra de traiter les anomalies plus tôt et ainsi modifier le traitement administré afin de réduire les traitements médicamenteux lourds, le besoin d'hospitalisation et les coûts de transports inutiles.

En plus des freins cités pour la télémédecine, dans le cadre particulier de la télésurveillance médicale, on retrouve un certain nombre de contraintes telles que des contraintes éthiques, sociales et individuelles (respect de la vie privée, confidentialité des données, discrétion des installations qui équipent les habitations). Les données de santé relèvent de l'intimité et de la vie privée et appellent à une protection renforcée. Les règles relatives à la sécurité ont toujours pris une place importante dans le domaine médical. Avec la multiplication des transmissions de données médicales et l'accroissement du nombre de personnes susceptibles d'accéder aux réseaux informatiques, la sécurité doit être une priorité renforcée.

1.3/ PROBLÉMATIQUES DANS LA TÉLÉSURVEILLANCE MÉDICALE

1.3.1/ LES LIMITES DES SYSTÈMES EXISTANTS

Dans les premières générations des systèmes de télésurveillance médicale, les données médicales étaient envoyées pour les médecins afin de les interpréter. Avec l'avancée technologique, des systèmes basés sur la fouille de données ou l'intelligence artificielle ont été développés pour suivre les patients et détecter les anomalies. Même si la télésurveillance médicale fait l'objet de nombreuses études, la résolution de la problématique globale de décision n'est pas assez développée. L'état de santé suppose la définition d'un ensemble de paramètres caractérisant les habitudes de la vie quotidienne de la personne analysée en parallèle avec l'évolution de paramètres physiologiques et environnementaux.

Différentes études et systèmes existent dans la littérature (certains sont présentés dans le chapitre suivant). Chacune de ses études ne prend en compte qu'une partie des données du patient. En effet, ces études considèrent soit le suivi des activités journalières et le déplacement à domicile, soit le suivi des données physiologiques, soit une autre partie environnementale ou comportementale.

Ces systèmes utilisent soit une fouille de données probabiliste qui implique beaucoup d'interactions avec les experts médicaux pour interpréter les données, soit un système expert basé des règles d'inférences définies par les experts médicaux. Les modules installés chez les patients s'occupent que de la transmission des données, si le lien avec le module distant est coupé, aucune situation dangereuse n'est détectée même si l'état de santé du patient se dégrade. Ces études ne présentent pas de méthodologie générique pour la construction d'un tel système. De plus, la plupart n'utilisent pas de vocabulaire contrôlé apportant une sémantique au système. Ce qui complique le partage d'information et le travail collaboratif.

1.3.2/ NOTRE APPROCHE

L'objectif principal de cette thèse peut se résumer ainsi :

Proposer un processus méthodologique afin de faciliter l'analyse et la conception de systèmes de télésurveillance médicale pour la détection précoce de signes précurseurs à une complication. Le processus doit permettre d'identifier les aspects génériques et spécifiques de chaque système et les architectures ainsi conçues doivent prendre en compte l'ensemble des données du patient, son profil, ses antécédents, les médicaments prescrits, les données physiologiques et comportementales ainsi que les données de son environnement. Ces architectures doivent également être ouvertes pour s'adapter à de nouvelles sources de données.

Ces informations représentent une banque de données privées qu'il faut sécuriser par des protocoles d'accès et de transmission. Elle peut être utilisée par les professionnels de santé dans leur travail quotidien en y accédant via un portail de service. Pour gérer le vocabulaire des différents professionnels de santé (médecin, infirmier ...etc.), nous avons choisi d'utiliser des ontologies de domaines pour avoir des vocabulaires contrôlés. La méthodologie proposée doit prendre en compte la construction et l'intégration de telles ontologies de domaine. L'utilité des ontologies de domaines est de partager une sémantique et garder une certaine cohérence des données. Cette méthodologie doit proposer au personnel soignant un accès aux données des patients pour le suivi et la mise à jour.

La télésurveillance étant basée sur une architecture distribuée, le module installé chez le patient doit avoir un certain niveau d'autonomie et de réactivité. Cela permettra la détection de situations dangereuses sans passer par le module distant (par exemple, dans le cas d'absence de connexion).

Pour la détection d'anomalies, cette méthodologie propose un système expert basé sur des règles d'inférences construites en collaboration avec les experts médicaux. Ces règles doivent être génériques avec la capacité d'évoluer avec l'état du patient.

1.4/ CONTEXTE APPLICATIF

1.4.1/ GÉNÉRALITÉS SUR L'INSUFFISANCE CARDIAQUE

L'insuffisance cardiaque (IC) est une maladie chronique grave qui, outre la morbi-mortalité importante qui lui est imputée avec 50% de mortalité à 5 ans dans les stades III - IV de la NYHA, induit des ré-hospitalisations fréquentes. Ces dernières grèvent la qualité de vie de ses patients (1.1) et certaines pourraient être évitées par une action en amont (Jessup et Brozena, 2003).

En France, près de 1 million de personnes souffrent d'IC et 120 000 nouveaux cas sont

diagnostiqués tous les ans ce qui pose un véritable problème de santé publique. En effet, la prise en charge de l'IC est complexe, longue, souvent difficile, et coûteuse pour la Société (HAS, 2014).

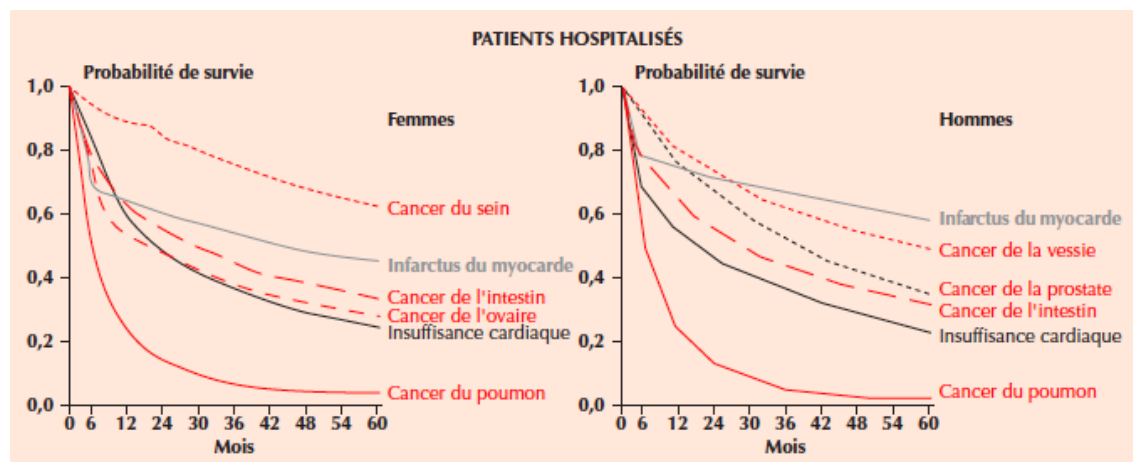


FIGURE 1.1 – Données de mortalité dans le cadre de l'insuffisance cardiaque

Si le traitement de l'IC est actuellement bien codifié (HAS,2014), reposant sur des données de médecine factuelle, et s'il a permis d'incontestable progrès, notamment sur la mortalité, il existe encore un gain dans l'espérance et la qualité de vie de ces patients en agissant notamment sur la prise en charge au long cours à domicile

En effet comme le montre la figure 1.2, l'IC a un retentissement considérable sur la vie des patients (Table ronde consacrée à l'insuffisance cardiaque, CHRU de Strasbourg, 2013).

1.5/ PROJET E-CARE

Le projet E-care, sélectionné dans le cadre de l'appel à projets « Santé et autonomie sur le lieu de vie grâce au numérique » des Investissements d'Avenir, a pour objectif principal d'optimiser le suivi des patients, en détectant les signes précurseurs des décompensations cardiaques, par un système de télémédecine associé à des outils de motivation et d'éducation. Il devrait permettre de diminuer le nombre de réhospitalisations et, in fine, d'améliorer la qualité de vie de ces patients.

La détection précoce de la décompensation cardiaque passe par l'intégration de données issues de plusieurs facteurs qui sont le signal issu de l'ECG, les sons cardiaques (PCG), le poids, la tension artérielle, la saturation en oxygène, l'ergonomie du patient ainsi que l'ajout d'un suivi diététique, en s'appuyant sur les données phénotypiques de chaque patient (médecine personnalisée). Tous ces éléments consolidés, avec le profil du patient

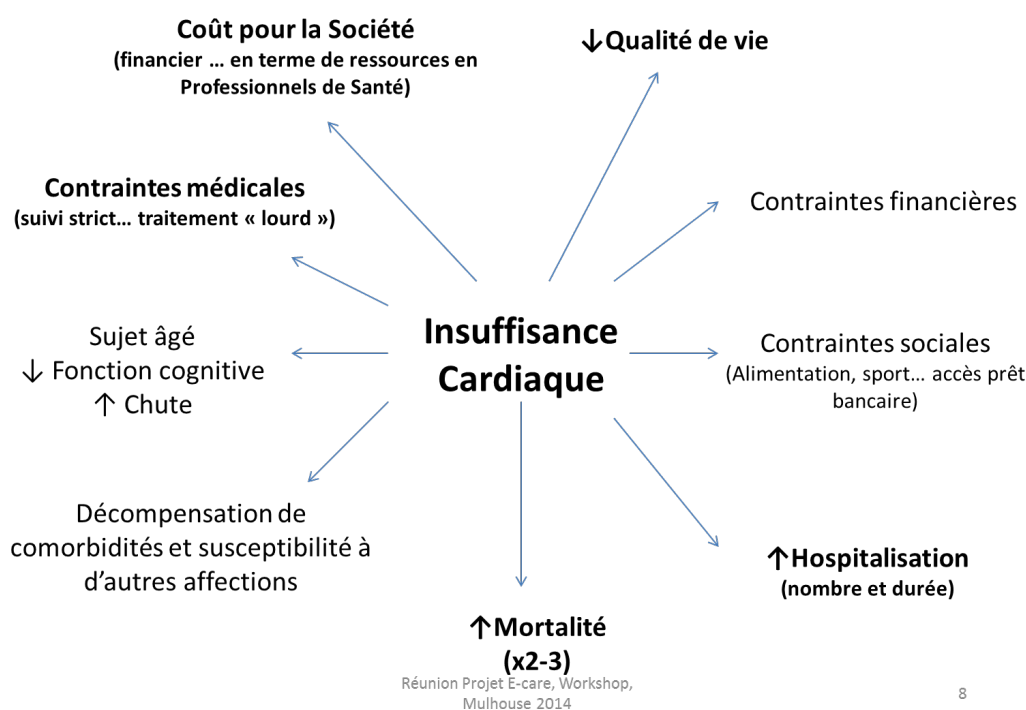


FIGURE 1.2 – Retentissement de l'insuffisance cardiaque sur la vie des patients

(13), permettent une détection des anomalies cardiaques, mais également de prévenir ces situations à risques de décompensation cardiaque.

L'objectif de la plateforme E-care est la surveillance, notamment à domicile et à l'aide de capteurs non intrusifs, des patients atteints d'IC de stade III de la NYHA. Elle doit assister le corps médical en automatisant le traitement des informations issues de ces capteurs par la génération automatique d'alertes, afin de détecter et de signaler de manière précoce les situations à risques de décompensation cardiaque. Elle doit être générique et permettre le partage et la prise en charge de connaissances hétérogènes pour intégrer les informations nécessaires au suivi de toute pathologie.

1.6/ ORGANISATION DE LA THÈSE

Après la présentation du contexte dans lequel s'inscrivent nos travaux de recherche, dans cette section nous présentons l'organisation des chapitres de cette thèse.

Le chapitre 2 de cette thèse présente un tour d'horizon des domaines abordés lors de nos travaux de recherche. Après une introduction dans la première section, la section 2 est dédiée aux systèmes de télésurveillance médicale et leurs principes. La section 3 aborde des généralités sur les ontologies, leurs apports, leurs types et les méthodes de construction. La section 4 présente les ressources quelques ressources terminologiques

et ontologiques dans le domaine médical, ainsi que quelques travaux de construction d'ontologies médicales. La section 5 présente des généralités sur les systèmes multi-agents. Dans la section 6 plusieurs études et systèmes de télésurveillance médicale sont présentés, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

Le chapitre 3 est divisé en deux grandes sections. La première présente la méthodologie ASPECS orientée multi-agents. La méthode ASPECS est composée de plusieurs activités qui sont présentées dans cette section. La deuxième section présente notre adaptation de la méthodologie ASPECS pour la télésurveillance médicale. Cette adaptation se concrétise par le raffinement d'activités existantes d'ASPECS ainsi que l'introduction de plusieurs activités.

Le chapitre 4 décrit la construction du système de télésurveillance pour le projet E-care. Cette construction adopte la méthodologie présentée dans le chapitre 3.

Le chapitre 5 est composé de trois sections principales. La première présente l'implémentation du système E-care définissant ainsi l'architecture du système avec ces différents modules. La deuxième section est dédiée aux tests et simulations faits pour une première validation du système. La troisième section présente les différentes expérimentations réalisées dans le cadre du projet E-care.

Le chapitre 6 - Conclusion et perspectives. Ce chapitre rappelle notre contribution pour répondre au problème de télésurveillance médicale. Il présente également les perspectives du projet E-care et de nos travaux de recherche.

2

ÉTAT DE L'ART

2.1/ INTRODUCTION

Un système de télésurveillance médicale s'occupe de la transmission et de l'interprétation de données cliniques, radiologiques ou biologiques (Simon et Acker, 2008). L'interprétation peut se faire par le personnel soignant ou par le biais d'un système logiciel/matériel qualifié d'intelligent. Cette interprétation peut conduire à la décision d'une intervention auprès du patient.

Il existe une grande variété de systèmes de télésurveillance médicale. Les grandes composantes de ces systèmes comprennent généralement un ensemble de capteurs associés aux technologies de l'information et de la communication pour le stockage, la manipulation et la transmission de ces données. De par leur diversité, les systèmes de télésurveillance médicale traitent des données hétérogènes provenant de différentes sources. La représentation des connaissances ainsi que l'architecture sous-jacente jouent un rôle très important dans ce type de systèmes. La représentation des connaissances doit prendre en compte cette hétérogénéité. Parmi les solutions possibles pour traiter ce problème, les ontologies sont des langages formels qui permettent d'exprimer des conceptualisations de domaines et ainsi définir une sémantique partagée. Les ontologies peuvent ainsi permettre la manipulation de données provenant de sources hétérogènes ainsi que leur partage et leur manipulation au sein du système.

Une autre problématique soulevée par les systèmes de télésurveillance médicale est le fait que ces systèmes sont : ouverts, dynamiques et difficilement prévisibles. De plus, nous attendons de ce type de systèmes qu'ils soient réactifs et pro-actifs. En d'autres termes, ces systèmes doivent réagir aux occurrences d'événements et aux changements intervenant dans leur environnement tout en essayant de satisfaire les buts pour lesquels ils ont été conçus. Pour répondre à cette problématique le paradigme des Systèmes Multi-Agents (SMA) semble être le plus approprié. Les SMA sont constitués d'agents autonomes et distribués capables de raisonner pour résoudre un problème. Ces agents opèrent en collaboration pour la résolution des objectifs globaux du système. De plus, de par la nature distribuée des SMA, ils sont particulièrement bien adaptés à la télésurveillance médicale car cette dernière est composée de plusieurs modules (modules chez les patients, modules de traitements, etc).

Afin de comprendre la problématique de la télésurveillance médicale, ce chapitre aborde, en section 2, les principes généraux d'un système de télésurveillance médicale. En section 3, sont données des définitions et généralités à propos des ontologies. En section 4, sont présentées les ressources existantes dans le domaine médical qui peuvent être exploitées ainsi que des travaux connexes à la construction des ontologies médicales. La section 5 introduit des définitions et généralités sur les systèmes multi-agents. La sec-

tion 6 présente quelques systèmes de télésurveillance médicale représentatifs et enfin la section 7 conclut ce chapitre.

2.2/ LES SYSTÈMES DE TÉLÉSURVEILLANCE MÉDICALE

La télésurveillance médicale s'appuie sur un système d'information global comprenant des habitats équipés de capteurs de différents types (physiologique, environnement, activité) pour la collecte de données relatives au patient, et d'appareillages automatiques pour adapter l'environnement de vie de la personne à ses capacités personnelles.

La figure 2.1 présente un schéma général pour un système de télésurveillance médicale. Cette architecture comporte un module chez le patient pour la collecte des données, et un serveur qui stocke et traite les données.

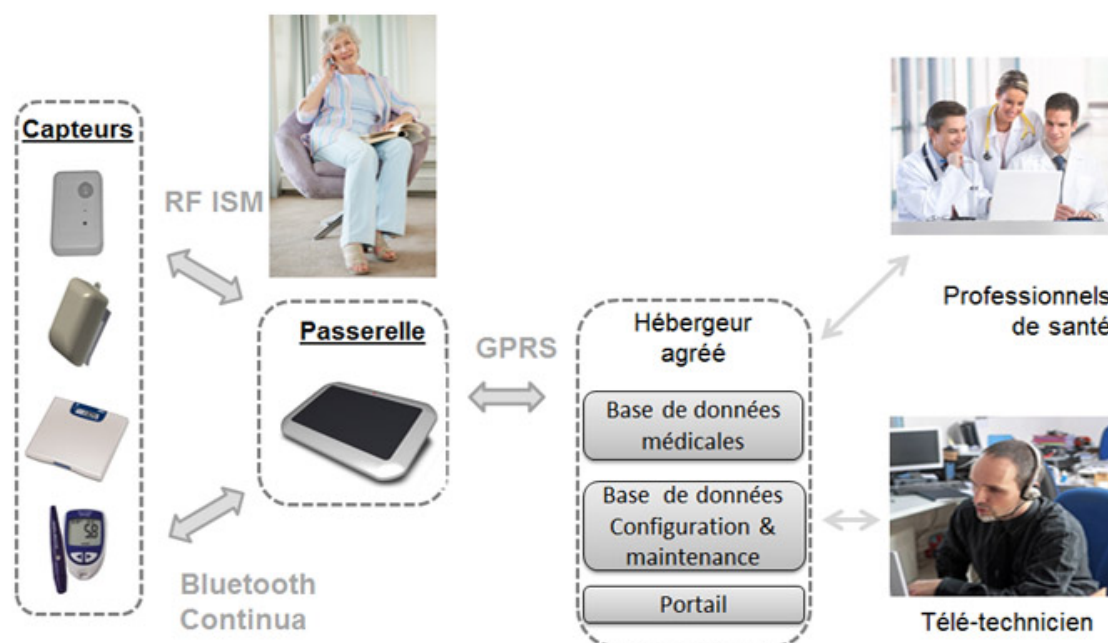


FIGURE 2.1 – architecture de télésurveillance médicale

2.2.1/ MODULE PATIENT

Ce module est installé chez le patient. Il comporte plusieurs capteurs associés à une passerelle pour la récolte des données. Les capteurs peuvent être physiologiques (exemple : thermomètre, oxymètre, tensiomètre, pèse-personne) ou domotiques (exemple : détecteur de présence) ou environnementaux (température ambiante, etc.). La passerelle (ordinateur, tablette tactile, smartphone, ...) collecte et envoie les données au

serveur via internet ou un réseau mobile. Les tablettes tactiles sont les plus utilisées, avec une application ergonomique qui permet au patient, en plus de l'envoi des données, de consulter ses données, d'avoir des conseils et de communiquer directement avec le personnel soignant.

2.2.2/ MODULE SERVEUR

Le serveur reçoit les données issues des modules installés chez les patients et gère l'authentification et la sécurité du protocole de transport, ainsi que de la cohérence des données. Les données sont ensuite stockées de manière à préserver la vie privée des patients. Le serveur peut comporter un composant « intelligent » pour détecter les situations à risques et remonter les alertes. Par ailleurs, un portail de services est utilisé pour répondre aux besoins des médecins, en leur donnant accès aux profils des patients et à leurs informations médicales. Ils peuvent consulter et traiter les alertes remontées par le système intelligent.

2.3/ ONTOLOGIES

2.3.1/ DÉFINITION

En philosophie, l'ontologie est une branche de la métaphysique qui s'intéresse à l'étude de l'être en tant qu'être (définition proposée par Aristote), c'est-à-dire l'étude des modalités et de ses propriétés générales de tout ce qui est.

En informatique, une ontologie est l'ensemble structuré des termes et concepts représentant le sens d'un champ d'informations. Autrement dit, l'ontologie constitue en soi un modèle de données représentatif d'un ensemble de concepts dans un domaine, ainsi que des relations entre ces concepts (gruber, 1993).

Une définition plus explicite est donnée par (Studer et al, 1998) : « Une ontologie est une spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée ».

Dans cette définition, il convient d'interpréter correctement chaque terme employé :

- Formelle : compréhensible par la machine ;
- Explicite : les concepts, les relations, les individus et les axiomes sont explicitement définis ;
- Partagée : les connaissances représentées sont partagées par une communauté ;
- Conceptualisation : modèle abstrait d'une partie du monde que l'on veut représenter.

Dans le contexte de l'informatique et sciences de l'information, une ontologie définit un

ensemble de primitives de représentation pour modéliser un domaine de connaissance (Gruber, 2008). Les primitives de représentation sont généralement des classes, les attributs et les relations. Les définitions des primitives de représentation comprennent des informations sur leur signification et les contraintes sur leur cohérence applicative.

Par analogie aux systèmes de base de données, une ontologie peut être considérée comme un niveau d'abstraction des modèles de données, similaire à des modèles hiérarchiques et relationnels. Les ontologies sont généralement spécifiées dans des langages qui permettent l'abstraction à partir des structures de données et des stratégies de mise en œuvre. Dans la pratique, les langages des ontologies sont plus proches de la puissance expressive de la logique du premier ordre que les langues utilisées pour modéliser des bases de données. Pour cette raison, les ontologies sont dites être au niveau sémantique, alors que le schéma de base de données est un modèle de données au niveau logique ou physique. Grâce à leur indépendance du modèle de données de niveau inférieur, les ontologies sont utilisées pour intégrer des bases de données hétérogènes, permettant l'interopérabilité entre systèmes hétérogènes.

2.3.2/ APPOINT DES ONTOLOGIES

Les ontologies sont utilisées pour la représentation des connaissances et l'application de raisonnements sur ces connaissances. Cependant une ontologie possède des caractéristiques qui, au-delà de cette représentation, favorisent la réutilisation et le partage de données. D'après (gruber, 1993), le partage de la compréhension commune de la structure de l'information entre les acteurs d'un système est une des raisons les plus courantes qui conduit à développer des ontologies.

Les ontologies fournissent un cadre sémantique commun. C'est à dire que tous les individus et les concepts impliqués peuvent être explicitement définis en fonction de leurs relations et attributs. Par conséquent, les ontologies sont interprétables par la machine et partageables par plusieurs personnes.

La communication entre les acteurs d'un système pose des problèmes, surtout quand les acteurs ne sont pas du même domaine et ne parlent donc pas forcément le même langage. La réutilisation, le partage de connaissance et d'ontologies, suppose que plusieurs utilisateurs soient d'accord sur les ontologies partagées. En effet, grâce à l'explicitation des concepts, plusieurs personnes peuvent collaborer ensemble sans aucune ambiguïtés ou perte d'informations.

Parmi les finalités courantes des ontologies, nous pouvons citer la distinction du savoir sur le domaine du savoir opérationnel, autrement dit, la description des tâches et du pro-

cessus du système indépendamment du domaine. Nous pouvons ainsi réutiliser cette description pour d'autres domaines. Par exemple, nous pouvons décrire les tâches d'un système de télésurveillance médicale, puis adapter cette description à différentes pathologies (insuffisance cardiaque, Alzheimer, insuffisance rénale, etc.) en intégrant les données du domaine voulu. De ce fait, les ontologies peuvent fournir un modèle de haut niveau d'abstraction du travail quotidien. Ce modèle peut être adapté à chaque organisme particulier en adaptant l'ontologie à sa situation particulière.

Une fois une ontologie construite, d'autres chercheurs peuvent se l'approprier et la réutiliser dans leur propre système. De plus, il est possible d'intégrer plusieurs ontologies existantes décrivant des portions d'un domaine pour construire une ontologie plus large. Nous pouvons, également, réutiliser une ontologie de haut niveau et l'étendre afin de permettre la description d'un domaine d'intérêt spécifique. Grâce à la généricité et la réutilisabilité des ontologies, et la distinction du savoir du domaine du savoir opérationnel, les ontologies sont très faciles à maintenir et avec des coûts très minimes.

2.3.3/ APPORT DES ONTOLOGIES DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ

Les ontologies sont très utilisées dans le domaine de la santé grâce aux différents efforts des organismes comme l'OMS qui visent à créer des classifications et des vocabulaires contrôlés dans ce domaine. Parmi ces classifications nous retrouvons la CIM10¹ (classification internationale des maladies), ATC² (classification des médicaments et les doses journalières), d'autres ressources seront présentées dans la partie 4.1 de ce chapitre.

Les ontologies peuvent apporter un vocabulaire commun sur des notions de santé admises par tous les acteurs du domaine de la santé. Ceci peut être fait en formalisant des vocabulaires ou des classifications existants, ou en créant de nouvelles ontologies à partir des comptes rendus médicaux.

L'évolution constante des normes de santé et des classifications issues du domaine médical impose une contrainte forte sur la facilité de mise à jour des bases de connaissances.

La convention de représentation des données dans une ontologie permet de faciliter l'agrégation de données multi-sources (capteurs, personnels de santé, textes) et multi-formats. Nous pouvons ainsi unifier la représentation de l'information pour définir ensuite des raisonnements adaptés au contexte d'exécution.

1. www.who.int/classifications/icd/en/

2. www.whocc.no/atc_ddd_index/

2.3.4/ TYPES D'ONTOLOGIES

Les ontologies peuvent être classifiées selon plusieurs dimensions. Parmi celles-ci, nous en examinerons deux : 1) Objet de conceptualisation ; 2) Niveau de formalisation de représentation.

2.3.4.1/ CLASSIFICATION SELON LE NIVEAU DE FORMALISATION

Par rapport au niveau du formalisme de représentation du langage utilisé pour rendre l'ontologie opérationnelle, (Uschold et Grüninger, 1996) proposent une classification comprenant quatre catégories :

1. Informelles : Ontologies opérationnelles dans un langage naturel (sémantique ouverte) ;
2. Semi- informelles : Ontologies définies dans un langage naturel structuré et limité ;
3. Semi-formelles : Ontologies utilisant un langage artificiel défini formellement ;
4. Formelles : Ontologies utilisant un langage artificiel contenant une sémantique formelle, ainsi que des théorèmes et des preuves des propriétés telles la robustesse et l'exhaustivité.

2.3.4.2/ CLASSIFICATION SELON L'OBJET DE CONCEPTUALISATION

On peut classifier les ontologies, comme le montre la Figure 2.2, selon leur objet de conceptualisation de la façon suivante :

1. Ontologie de Haut niveau. Ce type d'ontologie décrit des concepts très généraux ou des connaissances de sens commun. Son sujet est l'étude des catégories des choses qui existent dans le monde, soit les concepts de haute abstraction tels que : les entités, les événements, les états, les processus, les actions, le temps, l'espace, les relations ou encore les propriétés. Guarino (Guarino, 1997) et Sowa (Sowa, 1995) ont travaillé chacun indépendamment sur la théorie de l'ontologie. Tous deux intègrent les fondements philosophiques comme étant des principes à suivre pour concevoir l'ontologie de haut niveau ou supérieure. Sowa introduit deux concepts importants, Continuante et Occurrent, et obtient douze catégories supérieures en combinant sept propriétés primitives. L'ontologie supérieure de Guarino consiste en deux mondes : une ontologie des Particuliers (choses qui existent dans le monde) et une ontologie des Universels comprenant les concepts nécessaires à décrire les Particuliers. La conformité aux principes de l'ontologie supérieure a son importance, lorsque le but est de standardiser la conception des ontologies.

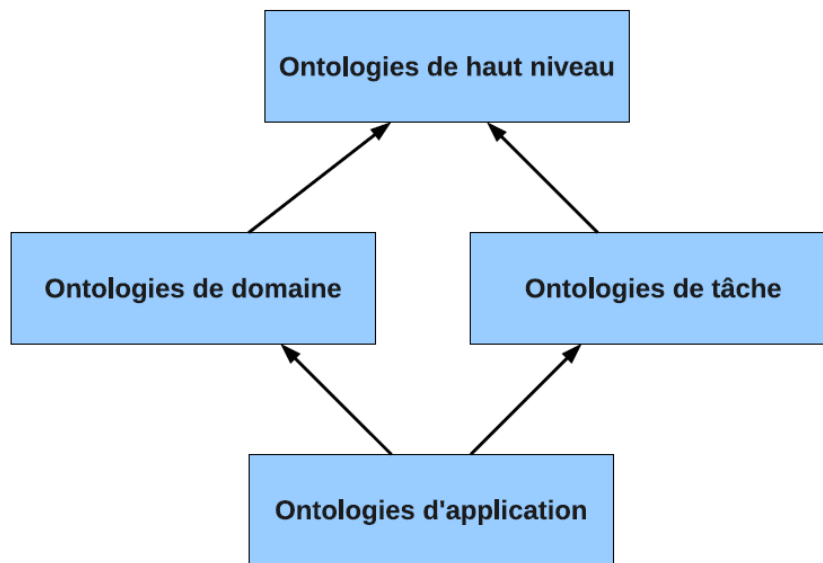


FIGURE 2.2 – architecture de télésurveillance médicale

2. **Ontologie du Domaine** (Mizoguchi et al, 2000). Cette ontologie régit un ensemble de vocabulaires et de concepts qui décrivent un domaine d'application ou le monde cible. L'ontologie du domaine est une méta-description d'une représentation des connaissances, c'est-à-dire une sorte de méta-modèle des connaissances représenté par des concepts et des propriétés. Elle caractérise la connaissance du domaine où la tâche est réalisée. La plupart des ontologies existantes sont des ontologies du domaine. Dans la section 4.2, nous présentons quelques ontologies de domaine médicales.
3. **Ontologie de Tâches** (Mizoguchi et al, 2000). Ce type d'ontologies est utilisé pour conceptualiser des tâches spécifiques dans les systèmes, telles que les tâches de diagnostic, de planification, de conception, de configuration, de tutorat, soit tout ce qui concerne la résolution de problèmes. Elle régit un ensemble de vocabulaires et de concepts qui décrit une structure de réalisation des tâches indépendante du domaine.
4. **Ontologie d'Application** (Maedche, 2002). Cette ontologie est la plus spécifique. Les concepts dans une ontologie d'application sont spécifiques à un domaine et une application particulière. Autrement dit, les concepts correspondent souvent aux rôles joués par les entités du domaine tout en exécutant une certaine activité. Lors de la construction ou le choix d'une ontologie, il est important d'avoir à l'esprit que plus le niveau d'abstraction choisi est proche de l'application moins l'ontologie est réutilisable, mais plus elle est adaptée. Il faut trouver le bon équilibre entre l'utilisabilité et la réutilisabilité.

2.3.5/ LANGAGES ONTOLOGIQUES

Plusieurs langages peuvent être utilisés pour la formalisation d'une ontologie. La W3C³ recommande les langages suivants :

2.3.5.1/ RDF

RDF⁴ (Ressource Description Framework) est un modèle de graphe pour la représentation sémantique et formelle des informations du Web et leurs métadonnées. Ces métadonnées peuvent être les auteurs de pages Web, leur date de création, etc. Les ressources du Web sont l'élément de base de RDF. Chaque ressource est pourvue d'un identifiant uniforme de ressource (Uniform Resource Identifier, URI). Initialement recommandé par le W3C dans le but de standardiser les définitions et les usages des métadonnées, le langage RDF est également utile à la représentation de données en elles-mêmes. Les éléments principaux de RDF sont les objets, leurs attributs et les valeurs de ces attributs. RDF ne permet pas la déclaration de propriétés particulières ; leur définition est totalement libre.

2.3.5.2/ RDF SCHEMA (RDFS)

Les schémas RDF⁵ (RDFS) permettent de définir le vocabulaire utilisé dans les descriptions RDF. Ils confèrent un formalisme de représentation riche, incluant des classes, sous-classes, propriétés, sous-propriétés, des règles d'héritage de propriétés, etc. Par contre, ils ne normalisent pas les inférences que l'on pourrait réaliser. La structure objet-classe des RDFS permet de représenter un modèle du domaine en définissant des objets du domaine et leurs relations pour rendre compte d'une ontologie.

2.3.5.3/ OWL

OWL⁶ (Ontology Web Language), créé en 2001 par le W3C, permet de représenter des ontologies sur le Web. OWL est composé de trois sous-langages, d'expressivité croissante, nommés OWL Lite, OWL DL et OWL Full.

1. Le langage OWL Lite peut être vu comme une extension du langage RDFS, auquel nous aurions enlevé certaines fonctionnalités. Le principal intérêt de ce langage est

3. www.w3.org

4. www.w3.org/RDF/

5. www.w3.org/TR/rdf-schema/

6. www.w3.org/2001/sw/wiki/OWL

de permettre la modélisation d'ontologies simples, d'une complexité formelle peu élevée, de sorte qu'il soit facile d'implémenter des raisonneurs corrects et complets.

2. Le langage OWL DL contient des constructeurs supplémentaires, mais il ne peut être utilisé qu'avec certaines restrictions par exemple : une classe ne peut pas être une instance d'une autre classe. Il en résulte un langage un peu plus expressif mais toujours décidable, c'est-à-dire que les conséquences sont toujours calculables en un temps fini.
3. Le langage OWL Full dispose des mêmes constructeurs que OWL DL, mais il les interprète de manière plus large. Ainsi, une classe peut cette fois être vue comme un ensemble d'individus (définition extensionnelle) ou comme un individu à lui tout seul (définition intensionnelle) qui pourra, par exemple, donner une valeur à une propriété. À ce titre OWL Full devient clairement un sur-ensemble de RDF. Cette expressivité accrue est gagnée au détriment de la complexité : le langage OWL Full n'est plus décidable.

La sémantique d'OWL est basée sur une hypothèse de monde ouvert qui est particulièrement bien adaptée au Web. Concrètement, cela signifie que le système est capable d'effectuer des raisonnements même s'il n'a pas une connaissance complète du monde, puisque tout fait absent de la base n'est pas systématiquement considéré comme faux. OWL dispose d'une sémantique en théorie des modèles (compatible avec celle de RDFS pour OWL Full) et d'une axiomatique (une traduction en logique du premier ordre est possible).

2.3.6/ PROTÉGÉ

PROTÉGÉ⁷ est un éditeur d'ontologie et de la base de connaissances développé par l'Université de Stanford Medical Informatics. Depuis sa création, PROTÉGÉ est dans un processus d'amélioration continue, avec des interfaces plus ergonomiques, et des plugins proposant de nouvelles fonctionnalités complémentaires comme la création de règles d'inférences et la visualisation des connaissances sous forme de graphes. Par exemple, il est possible de faire fonctionner des raisonneurs, pour le langage OWL, notamment pour vérifier la cohérence et la consistance de la structure ontologique. En quelques années, cet éditeur s'est imposé comme la référence, avec une communauté d'utilisateurs extrêmement importante et active. Ses nombreuses extensions lui permettent en particulier de :

- Gérer des langages standards comme RDF et surtout OWL ;
- Créer des axiomes formels de manière intuitive ;

7. protege.stanford.edu

- Accéder aux ontologies par des interfaces graphiques évoluées ;
- Comparer et fusionner des ontologies ;
- Faire fonctionner des raisonneurs.

2.3.7/ MÉTHODE DE CONSTRUCTION D'ONTOLOGIE

Le processus de construction d'une ontologie est un processus complexe, impliquant plusieurs intervenants dans les différentes phases du processus. La gestion de cette complexité exige la mise en place de processus de gestion, afin de contrôler les coûts et le risque, et d'assurer la qualité tout au long du processus de construction.

Il n'existe pas de consensus à propos des meilleures pratiques à adopter lors du processus de construction ou même des normes techniques régissant le processus de développement des ontologies. La meilleure solution dépend presque toujours de l'application qu'on veut mettre en place et des évolutions qu'on veut anticiper.

2.3.7.1/ MÉTHODE DE GOMEZ-PEREZ

Gomez-Perez (Gomez-Perez et al, 96) propose la méthode suivante :

1. Lister l'ensemble des concepts d'un domaine ;
2. Conceptualiser un ensemble de relations intermédiaires entre ces concepts ;
3. Implémenter le modèle ;
4. Evaluer.

Ces idées reprennent un plan d'action plus complet, que celui exposé par Mike Uschold et Martin King (Uschold et King, 1995). Pour ces auteurs, la conception d'ontologie comporte les étapes suivantes :

1. Identifier les Buts ;
2. Construire l'ontologie ;
3. Évaluer ;
4. Documenter.

2.3.7.2/ LA MÉTHODOLOGIE D'USHOLD ET KINGS

La méthodologie d'Ushold et Kings (Uschold et al, 1995), (Uschold et al, 1998) a été développée sur la base de leur expérience dans la construction de l'Enterprise Ontology. Cette méthodologie est générale et applicable à la construction d'autres ontologies de

domaine. Le cœur de la méthodologie est la procédure de développement décrite ci-dessous.

1. Définition de la portée ;
2. Collecter les concepts ;
3. Regrouper les concepts recueillis ;
4. Affiner l'ensemble des concepts par des enquêtes, quels sont les concepts de base, quelle est la proportion appropriée de concepts génériques et spécifiques, etc.
5. Déterminer le nom du concept : pour chaque concept il faut sélectionner un mot naturel qui n'a qu'une seule signification. S'il n'y a pas de mot approprié pour représenter un concept, alors créer un nouveau ;
6. Définir la signification d'un concept : dans le sens où il doit représenter le sens d'un concept voulu par les développeurs ;
7. L'ontologie développée est traduite dans un langage formel.

2.3.7.3/ METHONTOLOGY

METHONTOLOGY (Fernandez-Lopez et al, 1997) est une méthodologie mise au point par l'équipe du LAI de l'Université polytechnique de Madrid. Cette méthodologie intègre la construction d'ontologies dans un processus composé des dix étapes suivantes :

1. Construire le glossaire des termes qui seront inclus dans l'ontologie, préciser leur définition en langage naturel et identifier leurs synonymes et leurs acronymes ;
2. Construire des taxinomies de concepts ;
3. Construire des diagrammes de relations entre les concepts d'une même ontologie et également entre les concepts d'ontologies différentes ;
4. construire le dictionnaire de concepts qui inclut, pour chaque concept, ses attributs et ses relations ;
5. décrire en détail chaque relation ;
6. décrire en détail chaque attribut d'instance ;
7. décrire en détail chaque attribut de classe ;
8. décrire en détail chaque constante ;
9. décrire les axiomes formels ;
10. décrire les règles utilisées pour contraindre le contrôle et pour inférer des valeurs pour les attributs.

METHONTOLOGY permet de caractériser les ontologies au niveau des connaissances et insiste sur la nécessité de travailler à partir de représentations intermédiaires des connaissances lors de la phase de conceptualisation.

2.3.7.4/ ON-TO-KNOWLEDGE

On-To-Knowledge est une méthodologie développée à l'Université de Karlsruhe utilisant une architecture à deux boucles (Staab et al, 2001) : Un processus de connaissances et un processus de méta-connaissances pour introduire et maintenir la gestion de la connaissance ontologie et son évolution. Le processus de méta-connaissances est une méthodologie de développement d'ontologie et se compose de cinq étapes principales (avec 13 sous-étapes) :

1. Étude de faisabilité ;
2. Kickoff ;
3. Raffinement ;
4. Evaluation ;
5. Application et l'évaluation.

2.3.7.5/ ARCHONTE

La méthode ARCHONTE (ARCHitecture for ONTological Elaborating) proposée par B. Bachimont s'appuie sur la sémantique différentielle (Bachimont, 2000) (Bachimont et al., 2002). La construction d'une ontologie comporte trois étapes :

1. Choisir les termes pertinents du domaine qui représentent les concepts, puis créer une hiérarchie à partir de ces concepts en précisant les relations de similarités et de différences ;
2. Ajouter des relations entre concepts, les axiomes, et les facettes des relations et les attributs ;
3. Formaliser l'ontologie dans un langage de représentation des connaissances formel.

2.4/ TRAVAUX CONNEXES À LA CONSTRUCTION DES ONTOLOGIES DE DOMAINE MÉDICALES

2.4.1/ RESSOURCES TERMINOLOGIQUES ET ONTOLOGIQUES EN MÉDECINE

Il existe dans le domaine médical un grand nombre de ressources terminologiques et ontologiques construites pour répondre à des besoins précis et divers, dans ce qui suit quelques-unes sont présentées.

2.4.1.1/ CIM

Classification internationale des maladies (en anglais : ICD) permet le codage des maladies, des traumatismes et de l'ensemble des motifs de recours aux services de santé. Elle est publiée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et est utilisée à travers le monde pour enregistrer les causes de morbidité et de mortalité, à des fins diverses. Elle bénéficie d'une remise à niveau régulière. La version la plus récente étant la 10^{ème} révision (CIM-10, publiée en 1993). Il s'agit d'une classification monoaxiale avec 21 chapitres principaux. Sa dernière actualisation en français date de 2008, et en anglais de 2015.

2.4.1.2/ MESH

Le MeSH⁸ est un thésaurus médical qui a été conçu à la National Library of Medicine aux Etats-Unis comme support de l'Index Medicus, le répertoire des principales publications scientifiques, et il est utilisé par des systèmes de recherche bibliographique. Il est traduit en français et sert également de thésaurus au site CISMeF (le site du Catalogue et Index des Sites Médicaux Francophones). Le MeSH est organisé en deux parties : une liste alphabétique de termes (lexique) et une structure multiaxiale.

2.4.1.3/ SNOMED

La SNOMED⁹ (Systematized Nomenclature of Medicine) combine une nomenclature de plus de 50.000 termes et une classification multiaxiale et multi-domaines comportant à l'origine 7 axes : topographie, morphologie, étiologie, altération fonctionnelle, nosologie et actes médicaux (College of American Pathologists, 1993). À l'intérieur de chaque axe,

8. www.nlm.nih.gov/mesh/

9. www.nlm.nih.gov/research/umls/Snomed/snomed_main.html

les éléments sont organisés suivant une structure hiérarchique (Wang et al, 2002). La classification d'un terme repose sur une décomposition de celui-ci en combinaison des termes appartenant à différents axes. SNOMED-CT (Clinical terms), respecte un certain nombre de principes : structure hiérarchique de concepts, définitions de types ou de rôles pour des concepts, consistance, exploitation dans le cadre d'une logique de description (Dolin et al, 2001) qui en font une ontologie formelle.

2.4.1.4/ UMLS

UMLS¹⁰ a été mis en place dans le but d'améliorer l'accès à l'information médicale à partir de sources diverses : bases de données bibliographiques, bases de données d'enregistrements cliniques et bases de connaissances médicales (Lindberg et al, 1990). Un des moyens d'UMLS est de définir un vocabulaire médical de base, un « métathésaurus » qui reprend et dédouble les termes de l'ensemble des ressources terminologiques qu'il inclut (MeSH, SNOMED, etc.). Ce métathésaurus propose une description hiérarchique des connaissances médicales utilisées dans divers documents et systèmes à base de connaissances. De plus, un réseau sémantique permet de typer tous les termes du métathésaurus. Le métathésaurus n'est pas une ontologie : il n'a pas été fait dans ce but et une tentative de réutilisation comme une ontologie (l'utilisation du métathésaurus pour construire l'ontologie de MENELAS) s'est soldée par un échec (Charlet et al, 1996).

2.4.1.5/ DOLCE

DOLCE¹¹ (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) est une ontologie de haut niveau conçu pour être utilisée dans la construction d'autres ontologies de domaine (Mosolo et al, 2003). Elle résulte du projet européen WonderWeb Foundation Ontologies Library. La structure de DOLCE repose sur la distinction philosophique entre entités perdurantes et endurantes.

2.4.2/ ONTOLOGIES MÉDICALES

Beaucoup de travaux de construction d'ontologies médicales existent dans la littérature. Dans ce qui suit nous présentons quelques ontologies médicales :

1 Le projet LERUDI (Lecture Rapide en Urgence du Dossier patient Informatisé) vise à développer un système d'information offrant aux professionnels de santé une vision

10. www.nlm.nih.gov/research/umls/

11. www.loa.istc.cnr.it/old/DOLCE.html

synthétique du dossier patient informatisé (DPI), pour permettre des prises de décision médicales soumises à la contrainte de temps (Charlet et al, 2012). Ce projet a abouti au développement d'une ontologie médicale OntoUrgences. Cette ontologie permet l'annotation et l'indexation des dossiers patients et la recherche d'informations dans les dossiers indexés. Ils ont utilisé comme ressources les documents écrits par les médecins, les actes des congrès Urgences¹² de la discipline et les guide de bonnes pratiques du domaine. D'autres classifications comme la CIM-10 ont été utilisées.

Le développement de cette ontologie est passé par six étapes :

1. Construction du squelette de l'ontologie en analysant un corpus constitué d'actes de congrès Urgences, et les guides de bonne pratique du domaine ;
2. Utilisation des ressources terminologiques et ontologiques existantes pour compléter manuellement le système de concepts (CIM-10, SNOMED, CCAM) ;
3. Enrichissement automatique prenant en compte l'évolution des ressources utilisées ;
4. Enrichissement semi-manuel au niveau des termes en reprenant l'analyse du corpus ;
5. Enrichissement des concepts en rapport avec les médicaments ;
6. Validation de l'ontologie en vérifiant le respect d'un certain nombre de règles.

2 (Mille, 2003) Cet article présente la construction de deux ontologies pour l'aide à la prescription de médicaments pour la fonction cardiaque. La première est construite à partir des Résumés des Caractéristiques du Produit (RPC) avec des méthodes de TAL (étude morpho-syntaxique). Cette ontologie représente les symptômes. La deuxième ontologie représente les fonctions du domaine cardiaque. Elle est construite à partir de la classification internationale du fonctionnement et du handicap (CIF) de l'OMS et de thésaurus existants (UMLS, MeSH, SNOMED CT, GALEN). Des relations ont été créées par les experts du domaine pour relier les deux ontologies. Autrement dit, pour décrire les symptômes qui affectent le bon fonctionnement cardiaque.

3 Dans (Dhombres et al, 2010), les auteurs ont construit une ontologie de domaine pour la médecine périnatale. Une méthodologie à la fois bottom-up à partir de l'analyse des documents du domaine (SYNTEXUPERY, ARCHONTE), et top-down par la réutilisation de ressources terminologiques et ontologiques existantes (ONTOMÉNÉLAS, FMA, ORPHAnet, CCAM, CIM-10). La méthode suivie repose sur un processus itératif comportant les étapes suivantes :

12. www.urgences-lecongres.org

1. Définition de l'usage, cette étape se concrétise par la modélisation du domaine à l'aide d'UML ;
2. Identification et recueil de supports de la connaissance du domaine ;
3. Constitution de corpus textuels : vu l'hétérogénéité des ressources disponibles, trois corpus ont été construits, un corpus de comptes rendus d'échographie, un corpus de comptes rendus de radiopédiatrie et un corpus des documents de référence du domaine ;
4. Analyse du corpus par extraction des candidats termes, des relations et des verbalisations qui correspondent aux normes et pratiques du domaine ;
5. Normalisation sémantique : l'identification des termes a été fait manuellement par les expert ;
6. Engagement ontologique : dans cette étape, plusieurs ressources ontologiques ont été exploitées comme ONTOMÉNÉLAS, FMA, ORPHAnet, CCAM, CIM-10 ;
7. Evaluation de l'ontologie en pratique.

4 Le projet PertoMed financé par le CNRS vise à développer des méthodes et des outils pour la construction et l'évaluation de ressources terminologiques et ontologiques dans le domaine de la médecine (Baneyx et al, 2005). Dans ce projet, une ontologie dans le domaine de la pneumologie a été construite sur la base de deux corpus textuels. Le premier corpus est constitué de compte-rendus d'hospitalisations dans plusieurs hôpitaux. Le deuxième corpus est représenté par un livre à visée pédagogique qui permet d'affiner et de contrôler la hiérarchie de concepts. La méthodologie suivie est basée sur quatre étapes :

1. La constitution du corpus des connaissances et son analyse : il s'agit de traduire les corpus dans un langage XML puis grâce à un analyseur syntaxique, les candidats termes qui servent à la construction de l'ontologie sont extraits ;
2. La normalisation sémantique des termes du domaine grâce à la mise en oeuvre des principes différentiels ;
3. L'engagement ontologique qui permet de formaliser les concepts ;
4. L'opérationnalisation de l'ontologie dans un langage de représentation des connaissances interprétable par l'ordinateur.

L'évaluation de l'ontologie s'est faite du point de vue qualitatif et quantitatif. La hiérarchie conceptuelle a été corrigée et validée par des médecins pneumologues de la Société de Pneumologie de Langue Française. L'évaluation se fera également en testant la couverture de l'ontologie par rapport au thésaurus de spécialité.

5 (Gavrilova et al, 2011), (Gavrilova et al, 2012) décrivent le processus de création de l'ontologie de domaine Dermato-vénéréologie. L'objectif est d'aider les médecins à diagnostiquer les maladies de la peau. Elle est également utile pour les étudiants et stagiaires au cours du processus éducatif. Cette ontologie contient plus de 2 500 277 symptômes de maladies et comprend également la spécificité des symptômes et les antécédents médicaux du patient. Cette ontologie peut améliorer la qualité du diagnostic en dermatovénéréologie en aidant le processus de prise de décision.

L'ontologie a été construite suivant une méthodologie basée sur quatre étapes :

1. Identification des besoins et des objectifs ;
2. Identification des concepts (termes préférés) basée sur les livres du domaine ;
3. Spécification et catégorisation. Lorsque les concepts et les objets les plus pertinents du domaine sont collectés, les niveaux d'abstraction principaux peuvent être définis. Cette étape consiste en la construction d'une hiérarchie de symptômes ;
4. Orchestration. Cette étape comprend le raffinement et la mise à jour de la structure de l'ontologie suivant des règles d'ergonomie.

2.5/ SYSTÈME MULTI-AGENT

Les systèmes multi-agents (SMA) s'apparentent à l'intelligence distribuée. Le but est de résoudre un problème en associant chaque agent à un sous-problème et en coordonnant les activités de ces agents. Dans ce principe, l'enjeu est d'accroître l'intelligence collective à travers la coopération des agents.

2.5.1/ DÉFINITIONS

Ferber (Ferber, 1995) et (Ferber, 2006) a défini un agent comme toute entité physique ou virtuelle qui possède des compétences et offre des services. Cet agent est capable de percevoir son environnement de manière limitée et d'agir dessus. Il peut communiquer avec d'autres agents percevoir leurs actions et réagir en conséquence. Un agent est autonome et proactif. En d'autres termes, il est capable d'agir sans intervention extérieure et prendre des initiatives.

Selon Ferber, un système multi-agents doit être composé des éléments suivants (Ferber, 1995) :

- Un environnement E, un espace disposant généralement d'une métrique ;

- Un ensemble d'objets O . Ces objets sont situés, pour tout objet, à un moment donné, il est possible de lui associer une position dans E . Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents ;
- Un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers (A est inclus dans O), et qui représentent les entités actives du système ;
- Un ensemble R de relations qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux ;
- Un ensemble d'opérateurs $Op.$ permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O ;

2.5.2/ LES TYPOLOGIE DES AGENTS

Chaque agent est en mesure de recevoir des informations de l'environnement dans lequel il évolue par le biais de récepteurs, et d'agir sur ce même environnement par des effecteurs, suivant un comportement décidé selon le raisonnement de l'agent. L'agent se spécifie par sa propre architecture et son comportement. L'architecture reste liée au point de vue du concepteur, à la manière d'assembler les différentes parties de l'agent afin que ce dernier puisse accomplir ce qui est attendu de lui. Selon les architectures et les capacités, les agents sont classés en plusieurs types qui les qualifient de cognitifs, réactifs ou hybrides.

2.5.2.1/ AGENTS COGNITIFS

Toujours d'après (Ferber, 1995), la sociabilité d'un agent réside dans sa capacité à inter-agir avec d'autres agents ou avec un utilisateur humain. Les agents cognitifs ont la particularité d'avoir la composante décision c'est-à-dire le raisonnement assez développé et ainsi ils disposent d'une base de connaissances comprenant les diverses informations liées à leurs domaines d'expertise et à la gestion des interactions avec les autres agents de leur environnement. De ce fait, ils ont la capacité de prendre des décisions à partir des informations dont ils disposent et ceci leur permet de planifier leurs actions futures. Ils sont structurés en société où règne une véritable organisation sociale et ils peuvent ainsi coopérer en coordonnant leurs activités et négociant éventuellement pour résoudre des conflits. Le travail le plus représentatif de cette famille d'agents porte sur le modèle BDI (Beliefs, Desires, Intention) (Bratman, 1987).

2.5.2.2/ AGENTS RÉACTIFS

Les agents à capacités réactives ne disposent que d'un protocole et d'un langage de communication réduits. Ils n'ont pas une représentation explicite de leur environnement et ne sont pas capables de tenir compte de leurs actions passées. Ils ne possèdent pas de moyen de mémorisation. Ils ne peuvent répondre qu'à la loi de stimulus/action. En effet, dès qu'ils perçoivent une modification de leur environnement, ils répondent par une action programmée. Ils sont constamment en état de veille sur les changements de leur environnement. Leurs actions rapides et non réfléchies sont similaires à des réflexes. Ainsi, ce n'est pas au niveau de l'individu que les agents réactifs sont intéressants, mais au niveau de la population et des capacités d'adaptation et d'évolution qui émergent des interactions entre ses membres (Ferber, 1995). Ces agents ont des capacités de raisonnement très limitées, mais leurs interactions permettent l'émergence d'une intelligence collective.

2.5.2.3/ AGENTS HYBRIDES OU MIXTES

Dès le début des années 90, on savait que les systèmes réactifs et les systèmes cognitifs pouvaient convenir à la résolution de certains types de problèmes et moins bien pour d'autres. Dès lors, les chercheurs ont essayé de combiner les deux approches afin d'obtenir une architecture hybride (Jarras, 2002).

2.6/ COMPARAISON DE SYSTÈMES DE TÉLÉSURVEILLANCE MÉDICALE

Il existe beaucoup de travaux reliés à notre étude dans la littérature. Nous avons choisi de présenter les plus significatifs en les divisant en deux groupes, selon leur utilisation des ontologies.

2.6.1/ SUIVI DES ACTIVITÉS QUOTIDIENNES À DOMICILE (DOMOTIQUE)

1. (Franco et al, 2010a), (Franco et al, 2010b) ont travaillé sur une étude de télésurveillance médicale à domicile, pour des personnes âgées appliquée à la maladie d'Alzheimer. Leur système permet la détection des dérives des rythmes nycthéméraux à partir des données de localisation. Autrement dit, pour détecter une perturbation de l'horloge circadienne, il mesure la différence entre les séquences d'activité en utilisant

une variante de la distance de Hamming traditionnellement utilisé dans la théorie de l'information.

Cette méthode est illustrée par une étude des emplacements successifs d'une femme âgée dans son propre appartement. Dans ce travail préliminaire, les données ont été capturées par des capteurs infrarouges passifs placés dans chaque chambre permettant seulement la détection des activités élémentaires de la vie quotidienne. Le procédé a été testé en faisant varier la largeur de temps de l'étude (à savoir la durée des activités regardé) et dans un deuxième temps, en distinguant le jour de la semaine.

Dans les deux cas, il fournit des informations intéressantes sur le comportement et la vie quotidienne de la personne surveillée ainsi que des écarts de cette routine. Les écarts importants déclencheront des alarmes pour alerter les fournisseurs de soins.

2. Le projet HIS (Habitat Intelligent pour la Santé) présenté par (noury et al, 2005) et basé sur le concept HSH (Health Smart Home) a mis en place un appartement équipé pour la télésurveillance médicale dans la faculté de médecine de Grenoble. Il est utilisé comme plate-forme expérimentale pour le développement technologique et les évaluations médicales. (Hadidi et al, 2009), présente l'expérimentation sur la plate-forme HIS qui se compose d'une pièce principale, avec un lit et un fauteuil, et un WC.

Les capteurs infrarouges ont été placés sur les murs afin de détecter une présence sur le lit, le fauteuil, l'évier de salle de bain, devant l'armoire ou à la porte d'entrée principale.

Les données collectées sont stockées sous forme de lignes de séries chronologiques pour construire une liste des événements détectés [date-temps-localisation], ensuite convertis dans un fichier XML, et transmises encore une fois par e-mail à une base de données centrale tous les jours. A la réception, le fichier est chargé dans l'environnement MATLABTM, et stocké dans une matrice préliminaire pour la détection des événements.

À partir de ces données brutes, plusieurs paramètres ont été élaborés tels que : le nombre moyen d'événements pour chaque capteur, le nombre total d'événements diurnes, le nombre total d'événements nocturnes. L'objectif est de produire des indicateurs pertinents pour préciser les tendances anormales non visibles, afin d'informer l'équipe de santé, en charge du patient.

3. (Fleury et al, 2010) présente un habitat pour la santé dans un vrai appartement, comprenant des capteurs de présence infrarouge (lieu), des contacts de porte (pour contrôler l'utilisation de certains équipements), un capteur de température et d'hygrométrie dans la salle de bain, et des microphones (classification sonore et de reconnaissance de la parole). Un capteur cinématique portable informe également sur les transitions posturales (en utilisant la reconnaissance de formes) et des périodes de marche (analyse de fréquence).

Ces données collectées auprès des différents capteurs, sont ensuite utilisés pour classer chaque trame temporelle dans l'une des activités de la vie quotidienne (sept activités : l'hygiène, la toilette, manger, se reposer, dormir, la communication, et de l'habillage / déshabillage). Ceci est fait en utilisant SVM (Support Vector Machines).

Cette étude comporte une expérimentation avec 13 sujets sains pour déterminer les modèles des différentes activités et l'algorithme de classification (validation croisée) avec des données réelles.

4. (Rosner et al, 2013) proposent la conception d'un système de localisation efficace pour le suivi des patients âgés dans leurs domiciles. Ce système est conçu pour être intégré dans des systèmes plus complexes afin de fournir des informations précieuses et des alertes aux preneurs de soins responsables.

La solution est basée sur des capteurs communicants, avec une amélioration sur la couche physique qui répond aux exigences de localisation précise, une grande tolérance aux interférences, la détection de collision, le faible coût de mise en œuvre et une faible dissipation de puissance.

La solution a été développée sur le principe de positionnement par proximité, où l'emplacement d'un objet est estimé en fonction de la visibilité des positions connues, des orientations et des caractéristiques de transmission. Ce système est à la fois fiable et économique.

5. (Fugini et al, 2012) présente une architecture de gestion des risques dans la télésurveillance des mouvements dans un environnement intelligent. L'objectif de cette étude est de détecter les accidents dans les zones de vie et des milieux de travail ainsi que de mettre en place des stratégies pour éviter les risques chaque fois que cela est possible.

Cet article présente une méthodologie pour l'analyse du mouvement visant à détecter et prévenir les risques afin de mettre en place des mécanismes capables d'identifier les causes et les indications qui précèdent les accidents.

Cette méthodologie est basée sur la localisation en combinaison avec un procédé de reconnaissance de mouvement. Elle utilise du matériel intelligent, tels que des capteurs, le identification par radiofréquence (RFID) ou des téléphones intelligents qui peuvent être transporté ou porté par des personnes pour permettre la détection de leur emplacement, de leur proximité des sources potentiellement dangereuses et pour déterminer le risque auquel ils sont exposés à un instant donné.

Ce système de gestion des risques est basé sur une boucle MAPE effectuant de la surveillance, de l'analyse, de la planification et de l'exécution. Les principales tâches de la

boucle de contrôle des risques MAPE sont :

1. La surveillance est effectuée en continu à travers un ensemble de capteurs et dispositifs ;
2. L'analyse des données surveillées en vérifiant si les données sont sur des valeurs ordinaires ;
3. La planification est effectuée lorsque un (ou plusieurs) élément surveillé est en dehors des plages admises ;
4. L'exécution applique les stratégies identifiées dans la phase de planification. Lors de l'application des stratégies, la boucle reprend avec la phase de surveillance ;

2.6.2/ SUIVI DU COMPORTEMENT ET L'ÉTAT PHYSIOLOGIQUE DU PATIENT

1. Intelligent Mobile Health Monitoring System (IMHMS) est un système de télésurveillance médicale, avec une architecture de trois niveaux (Shahriyar et al, 2009) :

1. Le réseau de capteurs est composé de capteurs implantables ou portables. pour envoyer des données physiologiques comme la température corporelle, le ECG ou la saturation en oxygène. D'autres capteurs pour analyser le comportement du patient comme un microphone et un accéléromètre. Ces données sont ensuite transmises vers un serveur personnel chez le patient.
2. Le serveur chez le patient peut être un ordinateur personnel ou un téléphone. Il permet de collecter les données et vérifier si ces données sont cohérentes. Elles peuvent être envoyées via internet au serveur médical intelligent.
3. Le serveur médical intelligent reçoit les données depuis tous les serveurs des patients, et les stocke dans une base de données. Ce serveur intelligent utilise des méthodes de fouille de données pour détecter des situations dangereuses et alerter les médecins.

2. Le projet TISSAD qui développe des systèmes de télésurveillance médicale à domicile (Thomesse et al, 2002). Ces systèmes sont destinés aux personnes âgées et/ou atteintes d'affections chroniques, afin de prévenir des accidents ou des aggravations de leurs états de santé. Le système est basé sur la récupération de données vitales ou comportementales et les sauvegarde dans une base de données. Puis grâce à un module intelligent, il fait de l'aide au diagnostic. Le projet TISSAD a été centré sur l'utilisateur en regroupant ses données dans 4 classes : identification, historique des prescriptions, historique clinique, les données médicales.

3. Le projet TELEASIS propose une stratégie pour mettre en œuvre une composante d'alarme dans un système de télé-assistance de personnes âgées (Stoicu-Tivadar et al, 2009). Le système se compose d'unités situées dans les maisons des personnes suivies, pour la collecte et l'envoi de données (médicales et environnementales) à partir de capteurs, et d'un centre d'appel avec un serveur pour l'enregistrement et le suivi des données. Le personnel médical spécialisé peut mettre en place des scénarios d'alarme. Ce sont des combinaisons logiques de niveaux de seuil des valeurs lues à partir des capteurs physiologiques (par exemple, l'hypertension artérielle, ou de haut niveau de glucose dans le sang) ou à partir des capteurs d'environnement. Ces alarmes peuvent alors être attribuées de façon personnalisée aux patients. Pour chaque alarme, un schéma XML est généré et ensuite téléchargé dans les modules personnels chez les patients.

4. (Minutolo et al, 2010) proposent un système d'aide à la décision pour la télésurveillance de personnes atteintes de défaillance cardiaque. Le système se base des données relatives au patient qui sont : la variabilité de la fréquence cardiaque, la posture et l'activité physique. Un système d'aide à la décision est utilisé pour détecter les anomalies et déclencher des alertes.

Dans ce travail, les connaissances ont été représentées par une ontologie. Cette ontologie est structurée selon les cinq concepts principaux suivants :

- PatientSummary, décrivant un résumé de toutes les informations concernant le patient ;
- HeartMonitoringInformation, décrivant les informations cardiaques suivies concernant le patient ;
- PhysicalActivityInformation, décrivant l'activité physique réalisée par le patient ;
- Postureinformation, décrivant la posture du patient ;
- AlertInformation, décrivant les informations d'alerte que le système d'aide à la décision est capable de générer ;

L'aide à la décision est basée sur l'inférence en utilisant des règles gérées par un algorithme d'inférences.

5. Dans le cadre du projet KAMER, un système basé sur des ontologies et un système de raisonnement ont été développés et intégrés dans une plate-forme orientée services de soutien à domicile et des soins continus. La plateforme de service a été mise en œuvre comme un prototype, appelé Emilia Romagna Mobile Health Assistance Network (ERM-HAN) (Paganelli et al, 2011). L'objectif de la plateforme est de faciliter le développement et la livraison d'un ensemble de services de soins personnalisés pour les patients dans leurs domiciles. Ces services visent également à fournir un soutien à la famille, des informations aux assistants sociaux et aux fournisseurs de soins, qui sont impliqués dans les soins et l'aide aux patients.

Pour répondre aux besoins, plusieurs ontologies ont été construites :

- Pour les données personnelles du patient : Cette ontologie comprend des éléments qui peuvent être utilisés pour surveiller l'état du patient, ses activités et sa position, afin d'en déduire les conditions d'alarme possibles ou de situations anormales ;
- Pour le domicile du patient : Au domicile du patient, les paramètres environnementaux, comme la température et l'humidité relative, doivent être surveillés afin de maintenir un environnement sain et détecter les situations d'alarme possibles ;
- Pour la gestion des alarmes : Cette ontologie représente les alarmes détectées par le système ;
- Contexte ontologie sociale : Les membres du réseau de soins aux patients sont modélisés dans l'ontologie de contexte social.

Ce système est basé sur un moteur d'inférences pour détecter les situations critiques. Ce moteur d'inférences utilise des règles définies par l'utilisateur. Ces règles fournissent des mécanismes flexibles dépendants de l'application pour faire des inférences sur la base de l'ontologie. Ces règles sont de premier ordre et déterminent si une alarme doit être déclenchée selon des seuils.

6. (Valero et al, 2009) détaillent la conception et la mise en œuvre d'une plateforme de raisonnement pour prévoir ou réagir de manière intelligente à des situations exigeantes des soins à distance ou à domicile. Le système gère des agents intelligents, dont le comportement est défini et validé par des ontologies et des règles. Une méthodologie de développement a été adaptée pour soutenir le processus de l'acquisition des connaissances. Des fichiers log en XML sont stockés pour faire des algorithmes de fouille de données.

La méthodologie adaptée est composée de six étapes :

1. Acquisition de connaissances : une série d'entrevues et de formulaires ont été adaptés pour acquérir les connaissances ;
2. le Domaine de problèmes : cette étape a conduit à identifier le contexte socio-économique, sanitaire, et le marché des télé-soins ;
3. Problèmes d'identification : cette étape a contribué à un processus de rétroaction pour évaluer les connaissances acquises de la première étape ;
4. Conceptualisation et la formalisation ;
5. Implémentation ;
6. Validation : des mécanismes ont été définis afin de vérifier la cohérence des connaissances modélisées.

7. Le projet AKENATON propose une approche centrée patient qui vise à traiter les alertes transmises par les dispositifs implantables (défibrillateur) en télécardiologie (Burgun et al, 2011). Les patients inclus dans le projet sont des patients implantés au CHU de Rennes.

Le système AKENATON repose sur une ontologie basée sur l'ontologie de haut niveau, DOLCE. Cette ontologie comprend environ 250 classes définies formellement décrivant les maladies, les médicaments et le matériel dans le domaine de la télécardiologie. Les documents textuels du dossier patient sont analysés de manière à compléter les données structurées de façon ciblée. Le système extrait et date les informations concernant les médicaments (nom, dosage, posologie) et dispose de la classification fournie par l'ontologie pour instancier le fait que le patient soit sous anticoagulant.

Un mécanisme de raisonnement basé sur cette ontologie complétée par des règles est utilisé pour détecter les alertes. Ce raisonnement intègre les données cliniques du patient et les données transmises par le défibrillateur.

8. (Lasierra et al, 2013) présente la conception et la mise en œuvre d'une architecture basée sur la combinaison d'ontologies, des règles, des services Web et du paradigme informatique autonome pour gérer les données de télésurveillance à domicile. Cette solution est basée sur une ontologie définissant une architecture souple et évolutive pour gérer les principaux défis présents dans la télésurveillance à domicile. Cette ontologie fournit un moyen d'intégrer, d'unifier et de transférer des données prenant en charge les tâches de gestion cliniques et techniques. Cette solution est basée sur une architecture comprenant deux couches :

1) Une première couche conceptuelle basée sur les ontologies est proposée pour unifier la procédure de gestion et intégrer les données entrantes provenant de toutes les sources impliquées dans le processus de télésurveillance. Les données gérées décrites dans l'ontologie dépendent du service pour qui elles sont destinées (clinique ou technique). Par conséquent, d'abord une ontologie générique HOTMES a été conçue pour décrire les concepts généraux, puis deux extensions de l'ontologie ont été proposées pour soutenir chaque application clinique et technique. 2) Une deuxième couche de données et de communication basée sur la technologie des services Web vient se greffer à la première. Cette couche propose de fournir un back-up pratique à l'utilisation de l'ontologie, de fournir une véritable mise en œuvre des tâches qu'elle décrit et donc de fournir un moyen d'échanger des données. Une étude de cas concernant la gestion des données.

2.6.3/ SYNTHÈSE

Ces projets reposent pour la plupart sur les outils usuels de suivi (tensiomètre, pèse-personne, capteur d'activité, etc.), intégrant parfois des outils permettant la remontée des informations collectées et l'interactivité entre patient et professionnels de santé (call center, tablette numérique, site internet, etc.). Ils associent également pour certains des outils de motivations et d'éducation. Ils s'appuient sur des études prospectives ou de cohortes des patients, avec des effectifs plus ou moins conséquents.

Il est important de préciser que les objectifs ou indicateurs de ces différents projets sont plus ou moins ambitieux, allant d'une amélioration de la morbi-mortalité à une baisse des ré-hospitalisations, en passant par une amélioration de la qualité de vie et des coûts médico-économiques.

Les études présentées dans la première partie relèvent de la domotique (activité dans l'habitat), toutes ces études récupèrent des données de positionnement et d'activité du patient. Ces données sont ensuite analysées par des modules probabilistes relevant parfois de la fouille de données. Les experts du domaine sont ensuite emmenés à analyser ces résultats pour une éventuelle validation et prise de décision concernant le patient.

La deuxième partie relève du suivi des données physiologiques et comportementales des patients. Ces projets utilisent des capteurs pour la remontée des données, et d'un système de détection de situations à risque. Même si certaines études utilisent des ontologies pour la représentation de leurs connaissances, l'utilisation de référentiels médicaux et de vocabulaires contrôlés est absente. Cela complique le partage d'information et le travail collaboratif. De plus, aucune de ces études ne propose de solution générique capable de s'adapter aux patients et aux pathologies traitées.

Dans les tableaux 2.1 et 2.2 suivant nous proposons de résumer ces études en utilisant les critères suivant :

1. Utilisation d'ontologie : pour la représentation des connaissances ;
2. Utilisation de connaissances formelles du domaine : comme des ontologies de domaine pour apporter une sémantique au système ;
3. Autonomie et réactivité du module chez le patient : cela permet d'anticiper les situations à risque ;
4. Utilisation d'un système expert : pour la détection de situations dangereuses, ou de techniques de fouille de données ;
5. Architecture ou méthode générique : qui peut être réutilisée pour un autre système ;
6. Utilisation de standards : permet la communication et l'intégration d'autres

systèmes. Un point important vu le nombre d'outils et de systèmes existants dans le domaine médicale et utilisés par le personnel soignant.

	critères					
Projets	1	2	3	4	5	6
1	Non	Non	Non	Fouille de données	Non	Non
2	Non	Non	Non	Fouille de données	Non	Non
3	Non	Non	Non	Fouille de données	Non	Non
4	Non	Non	Non	Fouille de données	Non	Non
5	Non	Non	Non	Fouille de données	Non	Non

TABLE 2.1 – synthèse du suivi des activités quotidiennes à domicile (domotique)

Un système de télésurveillance médicale idéal, doit utiliser des ontologies pour la représentation de ses différents acteurs et tâches. Il doit être complété par des ontologies de domaine ou des classifications formelles du domaine. Ces ontologies permettent la communication et le partage de connaissances entre les différents acteurs du système.

Ce système doit comporter un module intelligent pour l'analyse de l'état de santé du patient, basé sur des règles d'une part génériques et d'autre part spécifiques à chaque patient. Ces règles doivent prendre en compte l'évolution de l'état de santé et doivent être facile à décrire et à modifier.

Le module installé chez le patient doit être autonome et réactif, autrement dit, il doit comporter un premier niveau d'intelligence pour détecter les situations les plus dangereuses et urgentes.

Ce système doit utiliser des standards pour permettre la communication avec d'autres systèmes. En effet vu le nombre d'outils utilisés par le personnel soignant, ce système est amené à intégrer ou à être intégré dans d'autres systèmes. Continua¹³ propose des guides de bonne pratique pour télésurveillance médicale, essentiellement la transmission des données.

La définition d'une méthodologie de construction générique permet sa réutilisabilité ce qui offre un gain de temps et d'argent.

13. Continuaalliance.org

	critères					
Projets	1	2	3	4	5	6
1	Non	Non	Non	Système expert	Non	Non
2	Non	Non	Non	Système expert	Non	Non
3	Non	Non	Non	Système expert	Non	Non
4	Oui	Non	Non	Système expert	Non	Non
5	Oui	Non	Non	Système expert	Non	Non
6	Oui	Non	Non	Système expert	Non	Non
7	Oui	Oui	Non	Système expert	Non	Non
8	Oui	Non	Oui	Système expert	Oui	Non

TABLE 2.2 – synthèse du suivi du comportement et l'état physiologique du patient

2.7/ CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté un état de l'art sur les ontologies, les systèmes multi-agents ainsi que les systèmes de télésurveillance médicale. Ceci nous a permis de mieux définir notre problématique.

Particulièrement, nous avons défini les ontologies, leurs apports, leurs types, et les différentes méthodes pour les construire. Nous avons également présenté les différentes sources médicales qui peuvent être exploitées, à savoir des classifications, des thésaurus etc. Nous avons ensuite présenté plusieurs études qui ont construit des ontologies médicales.

Nous avons présenté des définitions et des généralités sur les systèmes multi-agents. Les systèmes multi-agents ont prouvé leurs utilité dans la gestion des systèmes complexes et apportant une autonomie et une intelligence à chaque agent. Ceci s'adapte parfaitement aux systèmes de télésurveillance médicale vu la distribution de l'architecture et l'autonomie voulue dans les modules installés chez le patient.

Dans ce chapitre nous avons présenté un ensemble significatif de systèmes de télésurveillance médicale présents dans la littérature. Une analyse de ces systèmes nous a conduit à définir une méthodologie générique. Le chapitre suivant présente notre méthodologie générique pour la construction d'un système de télésurveillance médicale. Cette méthodologie est basée sur un SMA et différentes ontologies ainsi qu'un système expert pour la détection précoce de situations dangereuses.

MÉTHODOLOGIE

3.1/ INTRODUCTION

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la télésurveillance médicale traite des systèmes dédiés à la collecte, la transmission et le traitement de données. Ces données peuvent provenir de différentes sources comme des applications métiers ou des capteurs dédiés. La transmission peut se faire vers une unité distante qui s'occupe de la gestion et du traitement.

Les applications peuvent être la prise de mesure d'un patient ou simplement le renseignement de données par un personnel médical. Le traitement de ces données vise essentiellement à détecter les situations dangereuses qui peuvent conduire à la prise en charge par le personnel soignant.

Dans ce contexte, notre proposition est de concevoir une plateforme de télésurveillance. Cette plateforme est basée, d'une part, sur un ensemble de capteurs, et, d'autre part, sur un système logiciel. Ce système logiciel prend la forme d'un système multi-agents (SMA) qui aura en charge la gestion et le traitement des données. Le choix des SMA pour l'analyse et la conception de ce genre de système permet d'envisager naturellement une architecture à la fois distribuée et ouverte. En effet, les SMA sont particulièrement bien adaptés à ce genre d'architecture de par le fondement du paradigme sur des entités distribuées, autonomes, réactives et pro-actives.

Toutefois, comme énoncé dans (Cossentino et al, 2014), la conception de SMA sur la base d'agents qui collaborent pour résoudre collectivement une tâche ou un objectif commun est à la fois un art et une science. De nombreux travaux de recherche ont défini des méthodologies dédiées à l'analyse et la conception de SMA. Ces méthodologies sont la plupart du temps généralistes et aucune, à notre connaissance, n'est dédiée au domaine de la télésurveillance médicale.

La contribution de ce chapitre consiste à définir une méthodologie de construction de système de télésurveillance médicale adossé à un système expert afin de détecter les anomalies dans l'état de santé du patient. Tout le système doit être décrit par une ontologie d'application associé, éventuellement, à des ontologies de domaine afin de rajouter de la sémantique au système et faciliter la collaboration et le partage de connaissance. Nous avons fait le choix d'adapter la méthodologie ASPECS qui est une des plus complètes à ce jour (Isern et al, 2011) à la télésurveillance médicale. ASPECS est une méthodologie dédiée à l'analyse, la conception et le déploiement de systèmes complexes basée sur des concepts organisationnels (Cossentino et al, 2010). Parmi les activités d'ASPECS, l'identification des besoins peut se faire par une approche orientée buts (Bresciani et al, 2004) qui va permettre la modélisation des objectifs et les utilisateurs de la télésurveillance médicale ainsi que les parties du SMA en charge de ces différents objectifs. ASPECS

s'appuie sur l'analyse des besoins pour définir la structure organisationnelle du SMA.

ASPECS utilise une ontologie de problème pour décrire le système. Dans notre approche, nous proposons un processus pour la construction de cette ontologie. De plus, nous proposons une activité visant à définir si des ontologies de domaine sont nécessaires pour apporter une sémantique aux différents concepts de l'ontologie du problème et formaliser les connaissances. Dans le cas où des ontologies de domaine doivent être créées, nous proposons une activité pour la construction de ces ontologies. Cette activité utilise une méthode de construction qui est différente du processus de construction de l'ontologie du problème vu que ces ontologies ne sont pas du même type (ontologie d'application/ontologie de domaine). Une autre activité est proposée pour créer des liens entre les deux types d'ontologies (dans le cas où des ontologies de domaine existent). La dernière activité proposée consiste à décrire un système expert pour la détection de situations à risque.

Ce chapitre est organisé comme suit : la section 2 présente un aperçu de notre approche. La section 3 introduit les principes généraux d'ASPECS qui seront utilisés dans ce chapitre. La section 4 détaille la première phase d'ASPECS. La section 5 est dédiée à la présentation des activités rajoutées à ASPECS. Enfin, la section 6 conclut ce chapitre.

3.2/ APERÇU DE L'APPROCHE

Le domaine de la télésurveillance médicale impose un contexte spécifique. Parmi les contraintes propres au domaine, nous supposons l'existence d'un module chez le patient qui collecte et transmet les données. Ce module est associé à un module de traitement et un module de stockage des données. Ces deux derniers modules peuvent être situés chez le patient. Toutefois, pour des questions de coûts de matériel, de facilité de déploiement et de sécurité des données, la télésurveillance médicale suppose que ces deux derniers modules soient distants.

Notre approche vise à définir une méthodologie de construction de systèmes de télésurveillance médicale basés sur des SMA. Pour cela, nous réutilisons une méthodologie existante : ASPECS. Pour prendre en compte les contraintes spécifiques du domaine de la télésurveillance médicale, nous avons : (i) modifié le processus méthodologique d'ASPECS en terme d'activités et, (ii) ajouté des concepts spécifiques.

Une des composantes importantes de l'analyse d'ASPECS consiste à produire une ontologie du problème que le SMA doit traiter. Cette ontologie est une conceptualisation du problème à traiter qui permet à l'analyste d'identifier les structures collaboratives (organisations) du SMA et à définir le contenu des communications entre agents. Pour le

domaine de la télésurveillance cette activité existe toujours mais elle est enrichie par une deuxième activité qui vise à définir des ontologies dites de domaine. En effet, la télésurveillance médicale repose sur un ensemble de connaissances qui peuvent venir de sources ou de spécialités différentes. L'idée est de formaliser de manière modulaire l'ensemble des connaissances qui vont servir à alimenter les mécanismes de raisonnement des agents. Dans le domaine médical, il existe des ressources (corpus, classifications, ontologies de domaine) qui peuvent être utilisées pour la construction de ces ontologies comme la CIM-10 ou SNOMED (College of American Pathologists, 1993). Ces ontologies apportent des définitions formelles et partagées des concepts des domaines étudiés. Chaque ontologie formalise un point de vue et/ou une spécialité (médicale). La séparation en ontologies de domaines de ces points de vue/spécialités facilite la maintenance, l'extensibilité, l'explication et la traçabilité des raisonnements.

Ces ontologies seront ensuite associées entre elles et avec l'ontologie de problème pour faire le lien avec la partie décrivant le problème à résoudre.

Enfin, la troisième spécificité que nous prenons en compte est la modélisation du mécanisme de raisonnement. Ce mécanisme s'appuie sur les ontologies précédemment décrite et correspond à des besoins/buts identifiés du système. La description des ontologies apporte un premier niveau de raisonnement en utilisant les mécanismes propres au langage OWL comme la classification et la détection d'inconsistance. Par-delà ces mécanismes, les experts du domaine peuvent rajouter des règles d'inférences plus complexes. Par exemple, dans le cas de l'insuffisance cardiaque, si un patient prend des bêtabloquants et que son rythme cardiaque monte dangereusement, alors déclencher une alerte pour avertir son médecin. Dans cet exemple, la définition formelle de « bêtabloquant » dans une ontologie de domaine facilite le raisonnement. Dans le cas contraire, il faudrait utiliser des mécanismes plus complexes pour prendre en compte l'ensemble des variantes selon la description de chaque médecin tout en prenant en compte les erreurs de saisie.

3.3/ LES PRINCIPES GÉNÉRAUX D'ASPECS

ASPECS est un processus d'ingénierie logicielle pour des systèmes complexes spécialement adapté aux systèmes multi-agents et aux systèmes multi-agents holoniques (Cossentino et al, 2010). Pour faire face à tous les aspects des systèmes complexes, les systèmes multi-agents doivent prendre en compte de multiples niveaux d'abstraction et d'ouverture. ASPECS exploite les concepts de holons : agents qui peuvent être composés d'agents. ASPECS combine deux perspectives holoniques et organisa-

tionnelles dans un seul métamodèle permettant la modélisation d'un système à différents niveaux de détails en utilisant un ensemble de méthodes de raffinement.

ASPECS est basé sur un processus incrémental de trois étapes (Figure 3.1), l'analyse des besoins, la conception d'une société d'agents et enfin, l'implémentation et le déploiement.

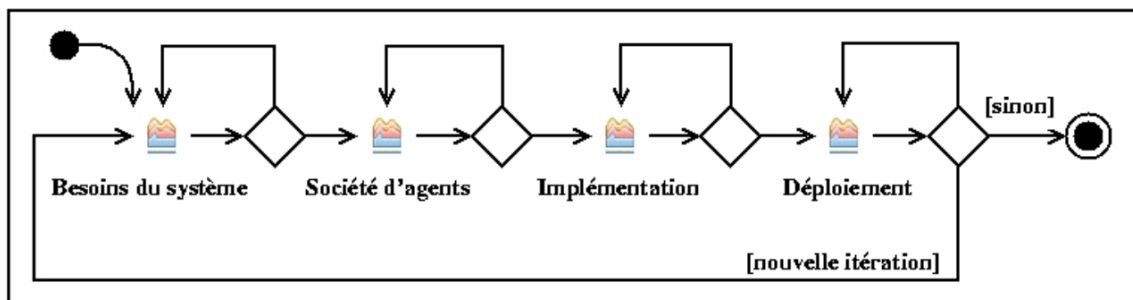


FIGURE 3.1 – Phases du processus ASPECS

La phase Analyse des besoins vise à identifier une hiérarchie des organisations, dont le comportement global peut satisfaire les exigences du système. Cette phase commence avec une activité de description des besoins où les exigences sont identifiées en utilisant des techniques classiques telles que les cas d'utilisation. Les connaissances de domaine et le vocabulaire associé au domaine du problème sont ensuite recueillis et décrits explicitement dans l'activité de description de l'ontologie du problème. Ensuite, les besoins sont associés à des organisations nouvellement définies. Chaque organisation sera donc responsable pour exposer un comportement qui remplit les besoins dont elle est responsable. Cette activité est appelée identification des organisations, elle produit une première hiérarchie des organisations qui seront ensuite étendues et mis à jour, avec d'autres itérations, afin d'obtenir la hiérarchie globale des organisations représentant la structure et le comportement du système. Le comportement de chaque organisation est réalisé par un ensemble de rôles qui interagissent et dont les objectifs consistent à contribuer à la réalisation des (une partie des) exigences de l'organisation au sein de laquelle ils sont définis. Afin de concevoir des modèles d'organisation modulaires et réutilisables, les rôles sont spécifiés sans faire des hypothèses sur la structure de l'agent qui peut les jouer. Pour atteindre cet objectif, le concept de capacité a été introduit. Une capacité est une description abstraite d'un savoir-faire, c'est une compétence d'un rôle. Chaque rôle requiert certaines compétences pour définir son comportement, et ces compétences sont modélisées à l'aide d'une capacité. En outre, une entité qui veut jouer un rôle doit être en mesure de fournir une réalisation concrète pour toutes les capacités requises par le rôle. Enfin, la dernière étape de la phase de configuration du système : l'activité d'identification des capacités qui vise à déterminer les capacités requises par chaque rôle.

La deuxième phase est la conception d'une société d'agents dont le comportement global peut fournir une solution efficace au problème décrit dans la phase précédente et pour satisfaire les besoins associés. L'objectif est de fournir un modèle en termes d'interactions et de dépendances entre entités (holons et agents). Les éléments définis auparavant tels que l'ontologie, les rôles et les interactions identifiées sont maintenant raffinés du point de vue social (interactions, dépendances, contraintes, etc.). A la fin de cette phase de conception, la structure de l'organisation hiérarchique est mappée dans un holararchie (hiérarchie des holons) en charge de réaliser les comportements attendus. Chacune des organisations identifiées précédemment est instanciée sous forme de groupe. Les rôles correspondants sont alors associés aux holons ou agents. Cette dernière activité vise également à décrire les différentes règles qui régissent le processus de prise de décision effectué à l'intérieur des holons composés ainsi que la dynamique des holons dans le système (création d'un nouveau holon, etc.). Tous ces éléments sont finalement fusionnés pour obtenir l'ensemble des holons impliqués dans la solution.

La troisième et dernière phase, à savoir la mise en œuvre et de déploiement, vise à mettre en œuvre la solution orientée agent conçue dans la phase précédente, en déployant la plateforme de mise en œuvre choisie. Cette phase vise à détailler comment déployer l'application sur différents nœuds. La phase de mise en œuvre détaille des activités qui permettent la description de l'architecture de la solution et la production de code ainsi que les tests associés. Elle traite également la réutilisation de la solution en encourageant l'adoption de modèles. L'activité de réutilisation de code vise à intégrer le code de ces modèles et d'adapter le code source des applications précédentes dans la nouvelle. Cette phase se termine avec la description de la configuration de déploiement. Elle détaille également comment l'application développée précédemment sera concrètement déployée, ce qui inclut les aspects de distribution, emplacement physique des holons et leurs relations avec les dispositifs et les ressources externes. Cette activité décrit également comment effectuer l'intégration des parties qui ont été conçues et développées en utilisant d'autres approches de modélisation avec des parties conçues avec ASPECS.

Dans ce qui suit, nous allons détailler la première phase d'ASPECS « Analyse des besoins ». Pour plus de détails sur la méthode ASPECS (Cossentino et al, 2014).

3.4/ ANALYSE DES BESOINS

La première phase d'ASPECS « Analyse des besoins » suit un processus composé de sept activités comme le montre la figure 3.2. Chaque activité sera détaillée dans les paragraphes suivants. La phase d'analyse des besoins implique deux rôles de processus

différents, les experts du domaine et les ingénieurs systèmes.

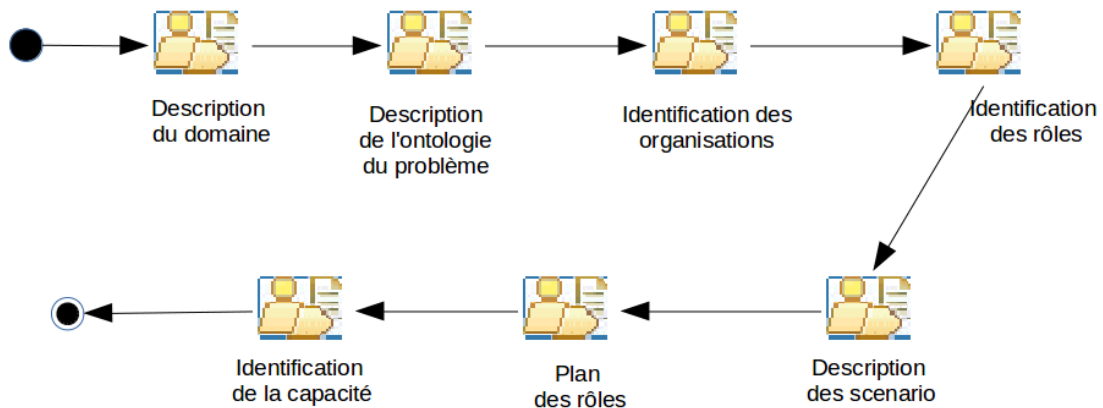


FIGURE 3.2 – Processus d'analyse des besoins

3.4.1/ DESCRIPTION DU DOMAINE

La description des besoins du domaine consiste à dresser une description du contexte de l'application et de ses fonctionnalités. Plusieurs approches différentes peuvent être utilisées. Par exemple, une approche orientée buts (identification des buts du système) ou encore une approche orientée cas d'utilisation.

Cette activité se base sur des interviews et des scénarios consolidés par les connaissances des experts du domaine pour fournir une description du besoin et les objectifs du système.

3.4.2/ DESCRIPTION DE L'ONTOLOGIE DU PROBLÈME

Une fois les objectifs de l'application déterminés, la description de l'ontologie du problème définit un aperçu conceptuel de l'ensemble des connaissances disponibles sur l'application et son contexte. L'ontologie est décrite à l'aide d'un diagramme de classes avec les stéréotypes suivants : concepts, actions et prédicats. Cette ontologie fournit un vocabulaire spécifique au domaine et des relations entre concepts afin de pouvoir les manipuler par la suite.

En outre, cette ontologie aide à comprendre le problème à résoudre et permet le raffinement des besoins. De plus, elle guide le choix des organisations en charge de la réalisation des objectifs du système.

Cette activité est composée de trois tâches :

1. Identification des concepts important du domaine.
2. Généralisation et abstraction des concepts en utilisant l'héritage.
3. Identification des relations entre concepts.

3.4.3/ IDENTIFICATION DES ORGANISATIONS

Le but de l'activité identification des organisations consiste à attribuer à chaque besoin un comportement qui n'est pas détaillé à ce niveau et qui est représenté par une organisation. L'identification des organisations doit établir une première décomposition organisationnelle du système et définir les objectifs de chaque organisation. Le contexte de chacune de ces organisations est défini par des concepts de l'ontologie du problème. Les organisations sont représentées par des paquetages stéréotypés englobant les buts ou les besoins qui leur sont attribués. ASPECS se base sur un processus itératif, chaque organisation peut être décomposée en sous-organisations jusqu'à un niveau de complexité faible pour être exécutée par une entité atomique. L'ensemble des organisations représente la hiérarchie organisationnelle du système.

3.4.4/ IDENTIFICATION DES INTERACTIONS ET DES RÔLES

L'activité d'identification des interactions et des rôles doit décomposer le comportement représenté par une organisation dans des comportements de grains plus fins représentés par des rôles.

Dans un premiers temps, l'organisation est décomposée en rôles, puis des responsabilités leur ont associées. Un rôle est responsable d'une partie des buts associés à son organisation.

Un rôle interagit avec les autres rôles de l'organisation afin d'accomplir leurs tâches. L'identification de ces interactions repose sur l'étude des cas d'utilisation ou sur les buts associés à l'organisation.

Les rôles et les interactions sont ajoutés aux diagrammes de classes en utilisant une classe stéréotypée pour représenter un rôle. Une interaction entre deux rôles est représentée par une association entre les classes des rôles correspondants.

3.4.5/ DESCRIPTION DES SCÉNARIOS

La description des scénarios devrait décrire un ensemble d'interactions possibles au sein d'une organisation. L'objectif est d'affiner et d'explorer les séquences possibles d'interac-

tions entre les rôles d'une même organisation. Le défi de cette activité est de spécifier la satisfaction des besoins attribués à l'organisation à travers les interactions entre les rôles.

3.4.6/ PLAN DES RÔLES

L'activité « plan des rôles » détaille le comportement de chaque rôle par un plan général. Ce plan est une réalisation partielle des objectifs de l'organisation. Le plan est composé d'unités élémentaires d'actions. Les différents plans doivent être conformes aux scénarios décrits dans l'activité précédente. Un autre schéma est tracé pour détailler le comportement de chaque organisation.

Cette activité passe par plusieurs étapes :

1. Détailler les responsabilités assignées aux rôles ;
2. Décomposer chaque rôle en un ensemble d'actions ;
3. Définir les transitions entre les différentes actions.

3.4.7/ IDENTIFICATION DE LA CAPACITÉ

L'identification de la capacité contribue à la définition de comportements génériques. Le principe sous-jacent est d'abstraire le savoir-faire nécessaire pour jouer les rôles d'une organisation. Cette abstraction supplémentaire permettra la modularisation et au paramétrage du système. En effet, l'abstraction représentée par une capacité peut être remplie par n'importe quel moyen.

Autrement dit, cette activité vise à identifier la partie générique du comportement du rôle et à le distinguer de tous les comportements qui pourraient dépendre de propriétés internes et les données de l'entité qui va jouer le rôle.

3.5/ ADAPTATION D'ASPECS À LA TÉLÉSURVEILLANCE MÉDICALE

Le but de cette section est d'étendre ASPECS en rajoutant et/ou modifiant les activités et les concepts sous-jacents d'ASPECS pour avoir une méthodologie générique et propre aux systèmes de télésurveillance médicale. La figure 3.3 illustre cette nouvelle méthodologie.

Dans ce qui suit nous allons détailler les nouvelles activités créées et les activités modifiées par notre méthodologie.

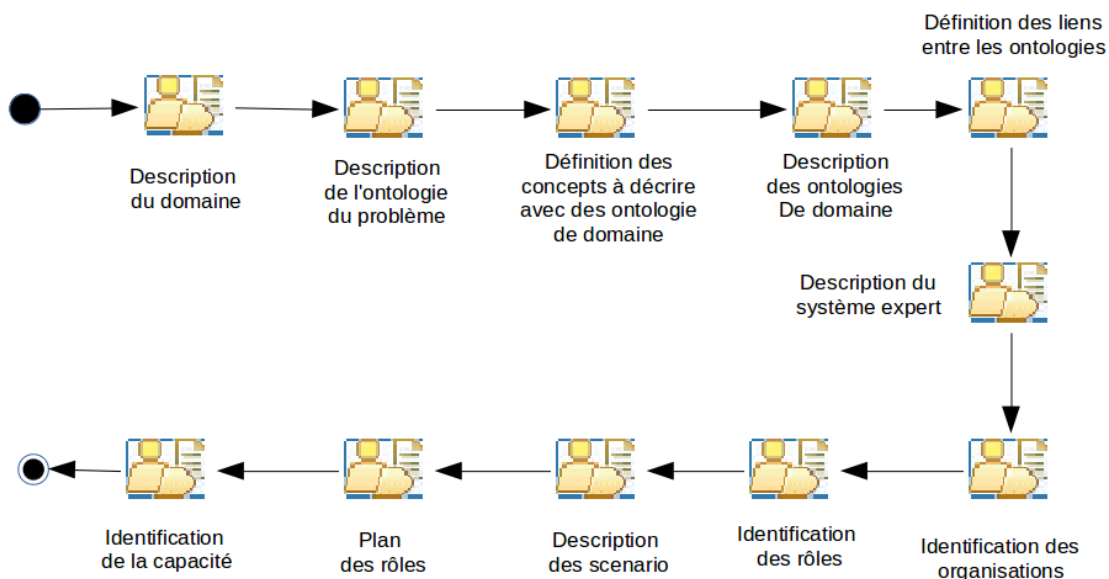


FIGURE 3.3 – Processus d'analyse des besoins

3.5.1/ DESCRIPTION DE L'ONTOLOGIE DU PROBLÈME

Cette activité reprend l'activité de description de l'ontologie du problème d'ASPECS et la détaille en rajoutant un processus générique de construction pour cette ontologie.

La description de cette ontologie doit modéliser le champ d'application et le domaine décrits en termes d'exigences, de besoins ou de buts dans l'activité qui la précède (Description du domaine).

Cette ontologie vise à conceptualiser un système de télésurveillance médicale. Nous proposons une méthode de construction de cette ontologie basée sur un processus itératif. Cette méthode est générique et peut être utilisée pour la construction de toute ontologie spécifique à une application (ontologie du problème dans notre cas). La figure 3.4 présente le processus de construction de l'ontologie du problème sous forme de diagramme d'activité.

3.5.1.1/ SPÉCIFICATION

Cette étape détaille la description du domaine, elle doit produire des documents textuels de spécifications fonctionnelles du système.

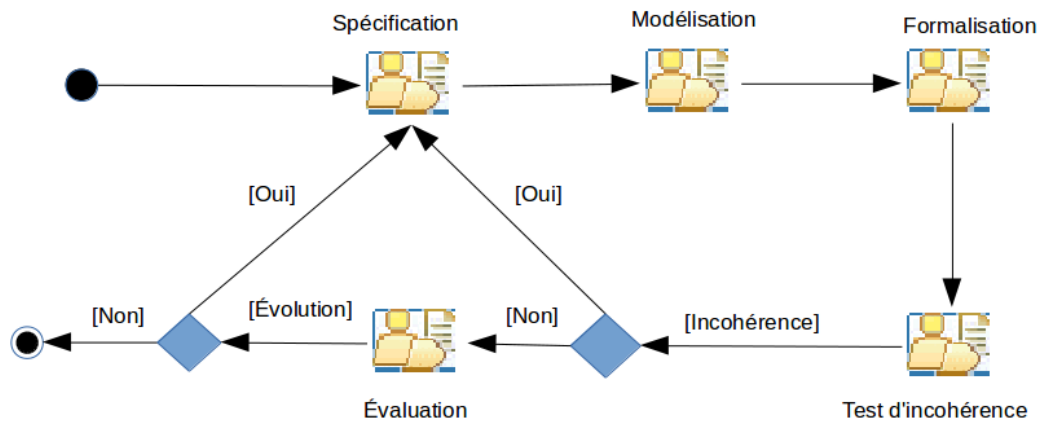


FIGURE 3.4 – Processus itératif de construction d'ontologie

Cette étape intervient lors de la détection d'incohérences après l'étape quatre (section 4.1.4) ou des évolutions après l'étape cinq (section 4.1.5). Dans ces cas, les spécifications sont modifiées et adaptées selon le cas de figure.

Les documents produits serviront comme entrée pour la prochaine étape, ils doivent être rédigés en détails. C'est à ce moment que toutes les décisions sont prises et les points restant flous seront alors difficiles à modéliser. Cette étape est fastidieuse mais il faut prendre le temps nécessaire car une erreur de spécification implique souvent des incohérences dans l'ontologie.

3.5.1.2/ MODÉLISATION

Dans cette étape nous modélisons les spécialisations fonctionnelles avec des diagrammes. Ces diagrammes serviront à la formalisation de l'ontologie.

L'activité de description de l'ontologie du problème définie dans ASPECS utilise un méta-modèle pour la modélisation de l'ontologie.

Nous proposons de réutiliser ce méta-modèle et représenter l'ontologie du problème par un diagramme de classe UML en utilisant les stéréotypes : Concepts, Actions et Prédicats comme décrit dans la méthode ASPECS.

3.5.1.3/ FORMALISATION

À partir des diagrammes UML, l'ontologie est construite dans le langage OWL.

Le passage d'un diagramme de classe UML au langage OWL se fait suivant des règles. Il existe plusieurs outils pour la construction d'ontologie, le plus utilisé est Protégé. La

construction de l'ontologie passe par les étapes suivantes :

1. Création des classes et de leur hiérarchie à partir des classes du diagramme ;
2. Définition des axiomes entre classes si nécessaire (exemple : classes disjointes) ;
3. Création des attributs (DataTypeProperty) à partir attributs des classes du diagramme ;
4. Création des relations (ObjectProperty) à partir des relations entre les classes du diagramme ;
5. Ajout des restrictions sur les attributs et les relations pour chaque classe suivant les restrictions du diagramme de classes (exemple : la classe A doit avoir un et un seul attribut B) ;
6. Création des instances.

À la fin de cette étape, nous aurons une ontologie écrite en OWL prête à être utilisée, mais auparavant il faut vérifier qu'elle est cohérente et qu'elle ne contient pas d'inconsistances.

3.5.1.4/ TEST D'INCOHÉRENCE

Une fois l'ontologie construite, il faut tester qu'elle ne contient pas d'incohérence. Une ontologie cohérente doit permettre des inférences conformes à ces définitions. Autrement dit, l'ontologie doit obéir aux axiomes et aux restrictions définis précédemment. Par exemple, si nous précisons que les classes Maladie et Médicament sont disjointes, alors aucune instance ne doit appartenir aux deux classes au même temps.

Il est possible de faire ce contrôle manuellement, mais cela est presque impossible sur des ontologies de taille importante. Pour cela il existe des raisonneurs qui vont analyser l'ontologie et détecter les incohérences. Un exemple de raisonneur, Pellet¹ (Sirin et al, 2006) qui peut être intégré dans Protégé, ce qui permet d'utiliser un unique outil avec l'ensemble des fonctionnalités.

Une incohérence peut être due à une erreur de codage (traduction en OWL). Ceci n'a pas été schématisé dans le diagramme d'activité car ce sont généralement de petites erreurs qu'on peut corriger assez facilement, les outils de construction pointent l'erreur.

Une incohérence peut être également causée par une mauvaise spécification fonctionnelle, ceci nécessite alors de revenir à l'étape 2, revoir les spécifications et les corriger. Ce deuxième type d'incohérence est beaucoup plus difficile à détecter et corriger, c'est pour cela qu'il est conseillé de bien détailler les spécifications initiales.

Si aucune incohérence n'est détectée, l'ontologie peut être utilisée et évaluée.

1. clarkparsia.com/pellet/

3.5.1.5/ ÉVALUATION

Une fois l'ontologie construite et après vérification de sa cohérence, nous pouvons commencer à l'utiliser. Cette première utilisation peut être considérée comme une période de test ou d'évaluation. Il est conseillé d'impliquer les utilisateurs finaux dans l'évaluation et prendre en compte leurs commentaires et leurs critiques.

Cette évaluation peut donner naissance à de nouveaux besoins et permettra de repartir depuis la première étape en faisant évoluer l'ontologie. L'évolution d'une ontologie ne prend pas beaucoup de temps comparée à l'évolution des logiciels utilisant des technologies classiques.

Si l'ontologie ne nécessite pas d'évolution, nous pouvons arrêter le processus tout en gardant à l'esprit qu'un jour nous serons amenés à la faire évoluer pour s'adapter à de nouveaux besoins ou de nouvelles normes.

3.5.2/ DÉFINIR LES CONCEPTS À DÉCRIRE AVEC DES ONTOLOGIES DE DOMAINE

Dans le domaine médical, il existe plusieurs ressources terminologiques et ontologiques. Nous en avons présenté quelques unes dans le chapitre 2.

Après la construction de l'ontologie du problème, cette activité vise à définir ses concepts qui peuvent être formalisés avec des ontologies de domaine. L'objectif de ces ontologies de domaine est d'apporter une sémantique formelle à notre système. Ces ontologies de domaine permettent le partage d'information et rendent le système collaboratif. En effet, avec l'expansion de la télémédecine, les systèmes doivent collaborer et partager des données hétérogènes issues de plusieurs sources. Le meilleur moyen d'avoir la même sémantique et la même interprétation est d'utiliser les ontologies de domaine.

En utilisant des ontologies de domaine, cela facilite la compréhension des instances et rend l'inférence plus intuitive. De plus, la maintenance du système est plus facile car l'intervention ou la mise à jour ne peut concerner qu'une seule ontologie à la fois. Autrement dit, chaque ontologie est une entité indépendante. Son évolution et sa modification n'affecte pas les autres ontologies.

Vu l'apport de ces ontologies de domaine, le but de cette activité est de définir le maximum de concepts de l'ontologie du problème qui peuvent être représentés par une ontologie de domaine ou une partie d'une ontologie de domaine.

Pour un concept de l'ontologie du problème nous pouvons avoir plusieurs cas de figures. Il est possible que ce concept ne puisse pas être représenté par une ontologie de domaine. Dans le cas contraire, ce concept peut être représenté par une ontologie à part entière

ou plusieurs ontologies. Dans un autre cas de figure, un concept peut être représenté par une partie d'une ontologie de domaine, le reste de l'ontologie peut ne pas être utilisé ou peut représenter d'autres concepts de l'ontologie du problème. Autrement dit, un concept peut être représenté par une ou plusieurs ontologies de domaine et une ontologie de domaine peut représenter un ou plusieurs concepts de l'ontologie du problème.

Dans le cas où des concepts de l'ontologie du problème peuvent être représentés par des ontologies de domaine, l'activité suivante sera la description de ces ontologies de domaine (section suivante). Sinon, nous passons directement à la description du système expert (section 3.5.5).

3.5.3/ DESCRIPTION DES ONTOLOGIES DE DOMAINE

L'objectif de cette activité est de décrire et construire des ontologies de domaine qui apportent une sémantique formelle à notre système de télésurveillance médicale.

Après l'étude des différentes méthodologies de construction d'ontologie de domaine, nous avons proposé une méthode générique. Cette méthodologie peut être utilisée pour la construction de n'importe quelle ontologie de domaine et prend en compte différents types de ressources.

Cette méthode est composée de neuf étapes comme le montre la figure 3.5 :

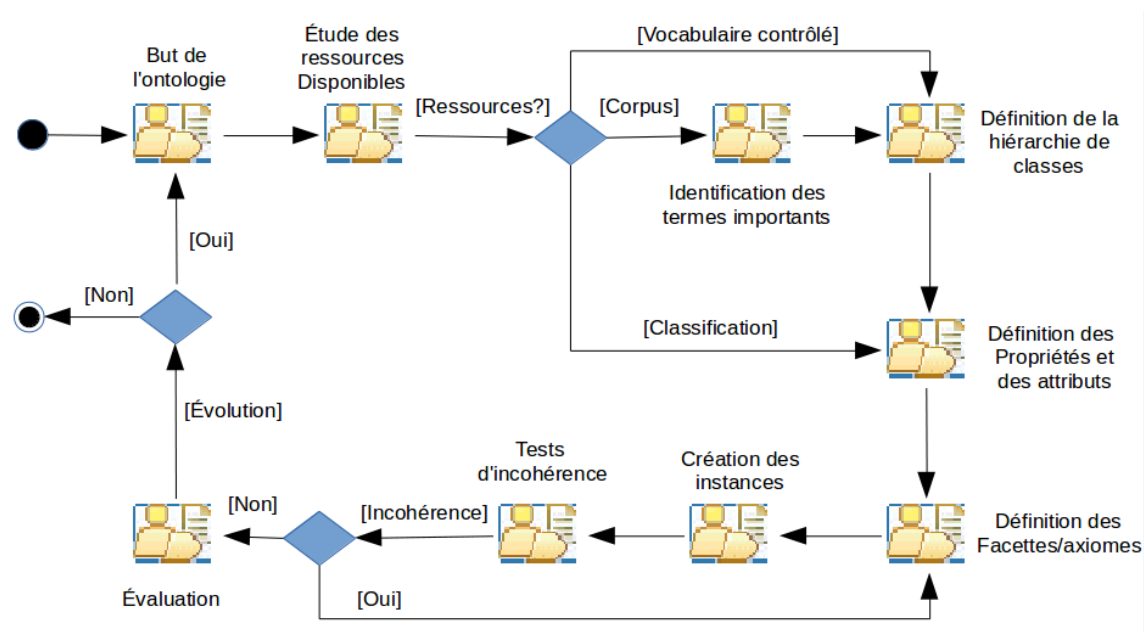


FIGURE 3.5 – Méthode de construction d'une ontologie de domaine

3.5.3.1/ DÉFINITION DU BUT DE L'ONTOLOGIE

La première étape consiste en la définition du domaine étudié et la portée de l'ontologie. C'est à dire répondre à quelques questions de base :

- Quel est le domaine que va couvrir l'ontologie ?
- Dans quel but utiliserons-nous l'ontologie ?
- À quels types de questions l'ontologie devra-t-elle fournir des réponses ?
- Qui va utiliser et maintenir l'ontologie ?

Les réponses à ces questions peuvent varier au cours du processus de la conception de l'ontologie, mais à chaque moment donné, elles aident à limiter la portée du modèle.

3.5.3.2/ ÉTUDE DES RESSOURCES DISPONIBLE

Cette étape est très importante, elle peut réduire le temps de construction de l'ontologie.

Voici les types de ressources classés selon leur facilité d'intégration :

- Réutilisation d'ontologies : Il est toujours utile de prendre en considération ce que d'autres personnes ont fait et d'examiner si nous pouvons élargir des sources existantes et les affiner pour répondre aux besoins de notre domaine ou de notre tâche particulière. Réutiliser des ontologies existantes peut même constituer une exigence si notre système a besoin d'interagir avec d'autres applications qui utilisent déjà des ontologies spécifiques ou des vocabulaires contrôlés. Plusieurs ontologies sont disponibles sur le net et peuvent être réutilisées et intégrées dans un nouvel environnement. Parmi les bibliothèques des ontologies nous pouvons citer Ontolingua² ou bien la bibliothèque des ontologies DAML³. La réutilisation d'une ontologie peut se faire de deux manières. Elle peut être utilisée directement sans modification car elle répond aux besoins et, dans ce cas, vu que cette ontologie a déjà été testée et évaluée le processus s'arrête ici. Dans le cas de modification de cette ontologie, l'étape suivante dépend de la nature de la modification. Par exemple si nous voulons rajouter des relations nous passons à l'étape 5 (définir les propriétés des classes/attributs).
- Les classifications : Une classification est une hiérarchie de termes et de concepts d'un domaine construite par les experts du domaine. Parmi les classifications médicales nous retrouvons la CIM10 (classification internationale des maladies). L'utilisation des classifications permet de passer directement à l'étape 5 (définir les propriétés des classes/attributs).
- Les vocabulaires contrôlés : Un vocabulaire contrôlé est un ensemble de termes d'un

2. www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/

3. www.daml.org/ontologies/

domaine construit par les experts du domaine. Son utilité la plus connue est l'utilisation de ces termes comme mots clés dans la recherche d'informations. En utilisant un vocabulaire contrôlé nous aurons déjà fait l'étape 3 (énumération des termes importants dans l'ontologie) et nous passons directement à l'étape 4 (définir les classes et la hiérarchie des classes).

- Corpus de texte et texte semi formel : en absence des ressources précédentes ou si elles ne répondent pas à tous nos besoins, des corpus de texte sont alors utilisés. Un corpus de texte peut être constitué de documents, de comptes rendus et d'autres sources textuelles. Cela nécessite l'utilisation de technologies de fouille de texte (étape 3).

3.5.3.3/ IDENTIFICATION DES TERMES IMPORTANTS DANS L'ONTOLOGIE

Dans cette étape les termes importants du domaine sont listés. Les termes peuvent être énumérés par les experts du domaine étudié. Le plus souvent, des outils de traitement automatique du texte (TAL) sont utilisés lors de la manipulation de sources textuelles. Les experts du domaine interviennent dans la validation de ces termes.

3.5.3.4/ DÉFINITION DES CLASSES ET LA HIÉRARCHIE DES CLASSES

À partir des termes sélectionnés, nous définissons les termes qui représentent les classes (termes favoris). Les autres termes vont être reliés aux termes favoris par des liens de synonymie ou de traduction dans une autre langue ou un autre dialecte. Ces liaisons vont être créées dans l'étape suivante (section 5.3.5).

Les classes dans une ontologie doivent être très proches des objets (physiques ou logiques) et des relations dans le domaine d'intérêt.

À partir de cette étape, un outil de construction d'ontologie tel que Protégé, le plus courant, peut être utilisé.

Il existe un certain nombre d'approches possibles pour développer une hiérarchie de classes :

- Un procédé de développement de haut en bas commence par une définition des concepts les plus généraux du domaine et se poursuit par la spécialisation de ces concepts. Par exemple, nous pouvons commencer en créant des classes pour les concepts généraux «Maladie» et «Médicament». Puis nous spécialisons la classe Maladie en créant quelques-unes de ses sous-classes : «Maladie du cœur», «Maladie des reins», etc.

- Un procédé de développement de bas en haut commence par la définition des classes les plus spécifiques, les feuilles d'une hiérarchie, et se poursuit avec le regroupement de ces classes en concepts plus généraux. Par exemple, nous pouvons commencer en définissant des classes pour : «Maladie du ventricule droit» et «Maladie du ventricule gauche», et nous pouvons ensuite créer une super-classe commune «Maladie du cœur» qui à son tour est une sous-classe de «Maladie».
- Un procédé combiné de développement est une combinaison des deux approches, de haut en bas et de bas en haut. Au tout début, les concepts les plus saillants sont définis, ensuite ils sont généralisés ou spécialisés suivant le cas. Nous pourrions commencer par quelques concepts du haut niveau tels que «Maladie» et quelques concepts spécifiques, tels que «Maladie du ventricule gauche». Puis, nous pouvons les mettre en relation avec d'autres concepts de niveau intermédiaire, tels que «Maladie du cœur». Ensuite, nous pouvons poursuivre en créant toutes les maladies et par conséquent tout un ensemble de concepts de niveau intermédiaire.

Aucune de ces trois méthodes n'est fondamentalement meilleure que les autres. L'approche à adopter dépend fortement du point de vue personnel sur le domaine. Si un développeur a un point de vue systématique de-haut-en-bas du domaine, il peut lui être plus commode d'utiliser l'approche de-haut-en-bas. L'approche combinée est souvent, la plus facile à utiliser pour la plupart des développeurs d'ontologies, étant donné que les concepts « du milieu » ont tendance à être les concepts les plus descriptifs du domaine (Rosch, 1978).

3.5.3.5/ DÉFINITION DES PROPRIÉTÉS DES CLASSES ET DES ATTRIBUTS

Les classes seules ne fourniront pas assez d'information pour répondre aux questions de la première étape. Après avoir défini les classes, nous devons décrire la structure interne des concepts.

Les classes ont déjà été sélectionnées à partir de la liste des termes créés pendant la troisième étape. La plupart des termes restants ont de fortes chances d'être des propriétés de ces classes. Ces termes comprennent, par exemple, la sévérité de la maladie, ses symptômes, sa durée ainsi que la localisation géographique habituelle. Pour chaque propriété dans la liste, nous devons déterminer la classe qu'elle décrit. Ces propriétés deviennent des attributs rattachés aux classes. Ainsi, la classe «Maladie» aura les attributs suivants : sévérité, symptômes, durée et localisation géographique.

Les propriétés sont classées en deux classes :

- Propriétés de type attribut (data type property), telles que la durée d'une maladie ou

sa description.

- Relations avec d'autres individus : ce sont les relations entre les membres individuels d'une classe et les autres entités. Par exemple, relier une maladie à une autre avec la relation « peut conduire à » ou relier une maladie à un médicament avec la relation « est traité par ».

Toutes les sous-classes d'une classe héritent des attributs de cette dernière. Puis nous rajoutons les attributs spécifiques aux sous-classes. Un attribut doit être rattaché à la classe la plus générale pouvant avoir cette propriété.

3.5.3.6/ DÉFINITION DES AXIOMES ET DES RESTRICTIONS SUR LES PROPRIÉTÉS ET LES ATTRIBUTS

Les relations et les attributs peuvent avoir plusieurs restrictions décrivant la valeur du type, les valeurs autorisées, le nombre de valeurs (cardinalité) et d'autres caractéristiques de valeurs que les attributs peuvent avoir. Dans ce qui suit, nous décrivons quelques facettes communes.

La cardinalité des attributs

La cardinalité des attributs définit le nombre de valeurs qu'un attribut peut avoir. Cela permet de spécifier une cardinalité minimale et maximale pour décrire plus précisément le nombre de valeurs d'un attribut. Cardinalité minimale N veut dire qu'un attribut doit avoir au moins N valeurs. Cardinalité maximale M veut dire qu'un attribut peut avoir au maximum M valeurs.

Le type de valeur des attributs

La facette type de valeur décrit les types de valeurs pouvant être affectés à l'attribut. Voici une liste des types de valeurs les plus typiques :

- « Chaîne de caractères » peut être utilisée pour décrire des attributs tels que nom ;
- « Nombre » décrit des attributs ayant des valeurs numériques ;
- Les attributs « Booléens » ont des valeurs simples de type oui - non ;
- Les attributs « Énumérés » précisent une liste de valeurs spécifiques autorisées pour l'attribut ;
- Les attributs de type « Instance » permettent la définition des relations entre individus. Les attributs ayant pour type de valeur « Instance » imposent la définition d'une liste de classes autorisées desquelles les instances sont issues.

Domain/range d'un attribut (domaine/co-domaine)

Les classes autorisées pour les attributs de type « Instance » sont souvent appelées

range (co-domaine) d'un attribut. Certains systèmes permettent la limitation du range d'un attribut quand l'attribut est rattaché à une classe particulière.

Les classes auxquelles un attribut est rattaché ou les classes dont l'attribut décrit les propriétés, sont appelées domain (domaine), le domaine d'un attribut. Dans les systèmes où les attributs sont rattachés aux classes, les classes auxquelles l'attribut est rattaché constituent le domaine de cet attribut.

3.5.3.7/ CRÉATION DES INSTANCES

Cette étape consiste à créer les instances des classes dans la hiérarchie. Définir une instance individuelle d'une classe exige le renseignement avec les valeurs des attributs et les relations entre instances.

3.5.3.8/ TEST D'INCONSISTANCE ET D'INCOHÉRENCE

Cette tâche est la validation de l'ontologie vis à vis de la représentation des connaissances. Cette tâche est la même décrite pour l'ontologie du problème (section 5.1.4). Une fois trouvées, ces incohérences doivent être corrigées en repassant par l'étape 6 (définir les axiomes et les restrictions sur les propriétés). Si tout est normal à ce niveau, alors le problème vient de la création des instances.

3.5.3.9/ ÉVALUATION

L'évaluation ou la validation fonctionnelle de l'ontologie se fait en deux étapes. Dans un premier temps les experts du domaine passent en revue l'ontologie avec ses différents composants. La deuxième étape est l'évaluation au sein de l'application. Est-ce que l'ontologie répond à tous les besoins ?

Vu l'évolution du domaine dans le temps, l'ontologie reste en évolution même après sa validation. A chaque évolution, le processus est repris depuis l'étape 1 (But de l'ontologie).

3.5.4/ CRÉATION DE LIENS ENTRE LES DEUX TYPES D'ONTOLOGIES

L'objectif de cette activité est de définir des relations entre l'ontologie du problème et les différentes ontologies de domaine. Ces liens permettent d'avoir une base ontologique reliée, où les concepts de l'ontologie du problème vont faire référence à des concepts

des ontologies de domaine. De plus, ces ontologies peuvent être mises à jour individuellement sans pour autant modifier les autres ontologies.

La figure 3.6 montre un exemple de liaison entre une ontologie de problème gérant un système de vente et une ontologie de domaine représentant les voitures. Dans cet exemple, une relation est créée entre les deux ontologies pour dire que les ressources vendues par ce système sont des voitures. Les deux types d'ontologies sont construits séparément et l'ontologie du problème ne dépend pas des voitures. Elle peut être réutilisée pour la vente de motos en rajoutant une ontologie de domaine des motos. De la même manière, l'ontologie de domaine des voitures peut être utilisée dans une autre application, une application de gestion d'une fourrière par exemple.

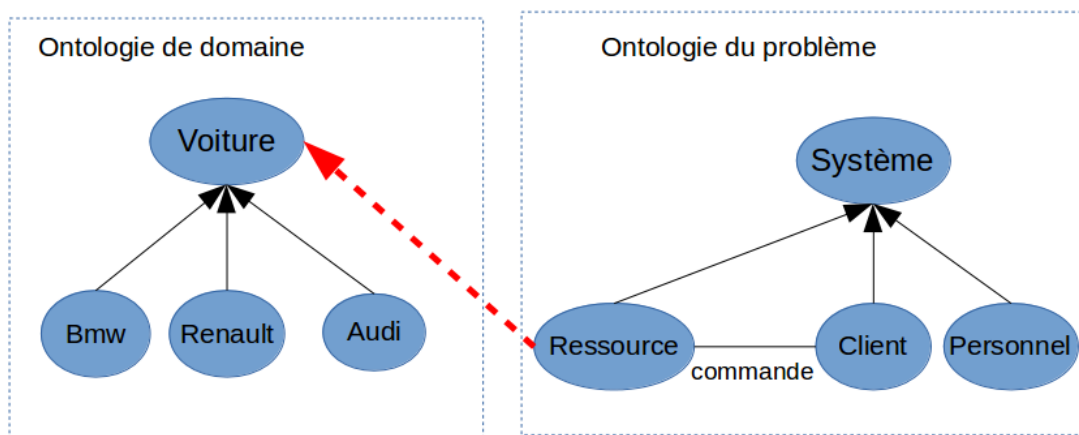


FIGURE 3.6 – Exemple de lien entre ontologie de domaine et ontologie du problème

3.5.5/ DESCRIPTION DU SYSTÈME EXPERT

De manière générale, dans la télésurveillance médicale, un système expert fournit des recommandations et des conseils au patient en cas de besoin. Si des situations anormales sont détectées, dans ce cas, le système doit envoyer des alertes à l'équipe médicale ou aux proches du patient (voisins ou famille). Il existe des systèmes de télésurveillance médicale qui, en cas d'urgence, remontent des alertes à des centres d'appel et aux équipes d'intervention. Ces systèmes experts peuvent également entraîner une action sur les machines et les actionneurs présents dans l'habitat.

Cette activité consiste à définir un système expert pour : la détection d'anomalies et les changements d'états de santé du patient.

Un système expert fait partie de l'intelligence artificielle qui en utilisant un moteur d'inférences, une base de faits et une base de règles, arrive à déduire de nouvelles

données.

La base de faits est composée des ontologies construites (ontologie du problème et ontologies de domaine) ainsi que des données concernant le patient (dossier médical, analyses, etc.). Le moteur d'inférences doit être compatible avec la base de faits, autrement dit, il doit être capable d'inférer sur des ontologies.

Un premier niveau de raisonnement est directement exploitable depuis le pouvoir d'expression d'OWL-DL. Ces raisonnements se basent, par exemple, sur les caractéristiques des relations dans les ontologies (réflexivité, transitivité, etc.). Par exemple : A a une relation R avec B, et B une relation R avec C, si R est transitive alors A a une relation R avec C.

Pour des raisonnements plus complexes, des règles d'inférences doivent être définies en collaboration avec les experts médicaux.

Le raisonnement se base sur l'ontologie du problème pour l'expression des clauses des règles. Dans l'exemple de la figure 6, nous pouvons définir une règle : si un client commande une ressource alors un processus de commande est lancé. Ceci se fait formellement en utilisant les deux concepts (« client » et « ressource ») et la relation « commande ».

Les ontologies de domaine complètent ce raisonnement en apportant des définitions formelles aux concepts de l'ontologie du problème. Dans l'exemple de la figure 3.6, nous pouvons décrire la règle suivante : si un client passe une commande pour un véhicule de type BMW alors une procédure spéciale est lancée. Dans cet exemple, sans l'utilisation d'une ontologie de domaine, BMW n'est pas formel et dans ce cas nous devons prendre en compte les erreurs de saisie et le langage habituel de chaque utilisateur, ce qui revient à créer une règle pour chaque variante.

Les règles d'inférences constituent la base des règles. Elles peuvent être génériques et utilisées pour tous les patients ou spécifiques à un patient ou un groupe de patients.

La création des règles passe par deux étapes : la définition des règles et leur représentation à l'aide d'un langage formel.

La définition des règles peut se faire par différentes manières selon les ressources disponibles :

- Définition des règles par les experts du domaine : en utilisant leurs connaissances et leurs expériences, les experts définissent des règles dans un langage naturel.
- Extraction des règles à partir de règles méthodologiques du domaine : en cherchant dans la littérature des documents spécialisés dans le domaine étudié. Par exemple dans le domaine médical et dans plusieurs spécialités, des experts définissent des

règles pour le diagnostic et le traitement des maladies. L'extraction se fait manuellement si les documents contiennent du texte libre, ou automatiquement s'ils sont formalisé dans un langage comme XML.

- Extraction des règles en utilisant des méthodes de fouille de données sur une base de données existante, suivie par une validation des experts du domaine : l'extraction des règles d'association est une branche de la fouille de données, son but est de retrouver des liens cachés dans une masse de données. Autrement dit, des algorithmes comme APriori (Rakesh Agrawal, et al, 1994) sont utilisés pour trouver des relations entre les attributs qui composent le domaine étudié. Cette étape est réalisée par les ingénieurs en connaissances. Les règles proposées par ces algorithmes contiennent un degré de confiance. Il appartient aux experts du domaine de fixer un degré de confiance minimal. La deuxième étape est la validation de ces règles par les experts du domaine.

Plusieurs langages peuvent être utilisés pour la formalisation des règles tel que SWRL (Parsia et al, 2005). La formalisation peut se faire avec des outils comme Protégé avec une interface graphique ergonomique.

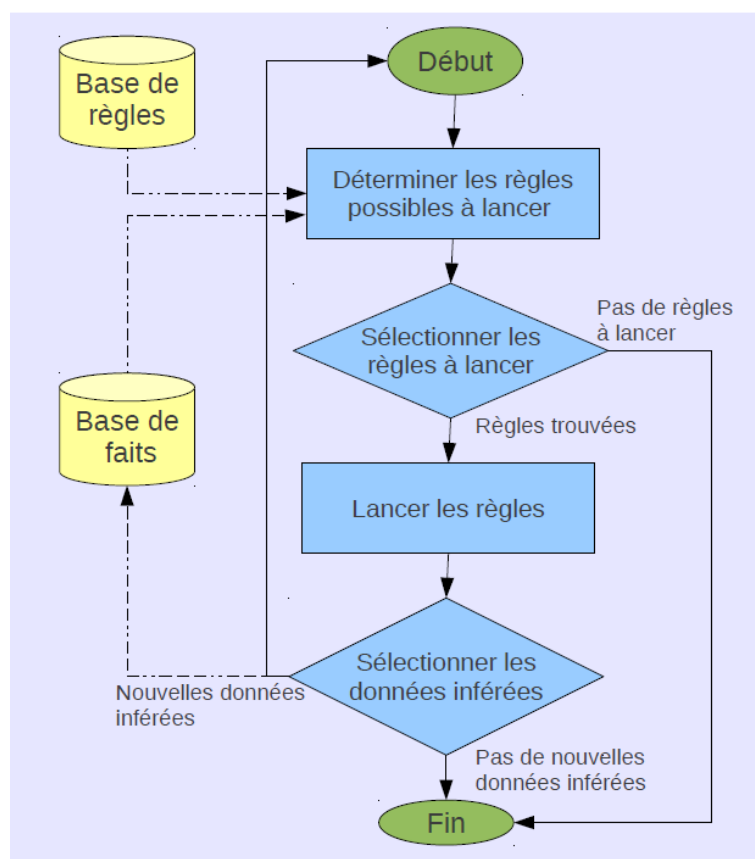


FIGURE 3.7 – Processus d'inférence

La figure 3.7 décrit le processus d'inférence, ce processus est lancé à l'introduction de

nouvelles données dans la base des faits. Le moteur d'inférences vérifie s'il y a des règles qui peuvent être déclenchées. Si de telles règles existent alors elles sont exécutées, sinon, le processus arrive à sa fin. Après l'exécution des règles, si aucune donnée n'a été générée alors le processus s'arrête, sinon les données générées sont enregistrées dans la base des faits et le processus est réitéré.

3.6/ CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons proposé une méthode générique de construction de système de télésurveillance médicale. Cette méthode est basée sur la méthode ASPECS orientée multi-agent.

Nous avons adapté la méthode ASPECS à la télésurveillance médicale en redéfinissant l'activité de description de l'ontologie du problème et en rajoutant quatre autres activités à savoir :

- Définition des concepts à décrire avec des ontologies de domaine ;
- Description des ontologies de domaine ;
- Définition des liens entre les deux types d'ontologies ;
- Description du système expert.

La redéfinition de l'activité de description de l'ontologie du problème inclut un processus générique de construction de cette ontologie d'application.

L'activité suivante définit les concepts de cette ontologie qui peuvent être représentés par des ontologies de domaine. Ces ontologies de domaine apportent une sémantique au système et permettent un travail collaboratif et facilite le partage d'information.

L'activité de description des ontologies de domaine consiste à construire des ontologies de domaine suivant un processus itératif générique. Ce processus est différent de celui de l'ontologie du problème vu la différence entre les natures des deux types d'ontologies (ontologie d'application et ontologie de domaine).

L'activité qui suit définit des relations entre les deux types d'ontologies afin d'assurer l'existence de relations entre les ontologies et une ontologie globale cohérente.

Les deux méthodes de construction des ontologies (ontologie du problème et ontologies de domaine) sont génériques et peuvent être utilisées pour la construction d'autres ontologies du même type (application ou domaine).

La construction séparée de ces ontologies permet de faciliter la maintenance et améliore la capacité de réutilisation de ces ontologies. En effet, la mise à jour d'une ontologie

n'affecte pas les autres ontologies. La réutilisabilité est justifiée par le fait qu'une ontologie de domaine peut être utilisée avec une autre ontologie du problème dans une autre application, et une ontologie du problème peut être utilisée dans un autre domaine.

Le but d'un système de télésurveillance médicale étant la détection d'anomalie dans l'état de santé du patient, nous avons rajouté une activité pour décrire un système expert capable d'inférer l'état de santé du patient et détecter les situations dangereuses.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter un cas d'application de cette approche dans le projet E-care dédié à la télésurveillance médicale de patients atteints d'insuffisance cardiaque

4

PROJET E-CARE

4.1/ INTRODUCTION

Ce chapitre présente l'application de la méthodologie, proposée dans le chapitre précédent dans le cadre du projet investissements d'avenir « E-care¹ ».

Le projet E-care a pour objectif la télésurveillance médicale pour les patients atteints d'insuffisance cardiaque (IC). Le but de ce projet est de contribuer à un bon niveau de soin pour des patients qui ne sont pas forcément dans un cadre de surveillance par des personnels médicaux. Par exemple, l'idée est que des patients puissent être maintenus à domicile tout en bénéficiant d'un suivi permanent.

Ce projet a été réalisé dans le cadre des appels « investissements d'avenir » en collaboration avec les Hôpitaux Universitaires de Strasbourg. Des spécifications en étroite collaboration avec les experts médicaux ont été réalisées pour déterminer les éléments importants dans le suivi de l'insuffisance cardiaque.

Le projet E-care a pour objectif principal d'optimiser le suivi des patients. Cet objectif est réalisé par la détection des signes précurseurs des décompensations cardiaques par un système de télémedecine, associé à des outils de motivation et d'éducation pour la prise en main du système par les patients. Il devrait permettre théoriquement de diminuer le nombre de ré-hospitalisations, de réduire le nombre total de jours d'hospitalisation qui croît progressivement et systématiquement dès lors que le patient est hospitalisé, et in fine, d'améliorer la qualité de vie de ces patients.

L'objectif de la plateforme E-care est la surveillance, notamment à domicile, à l'aide de capteurs non intrusifs, des patients atteints d'insuffisance cardiaque de stade III de la NYHA (New York Heart Association) (NYHA, 1994). Elle doit également assister le corps médical en automatisant le traitement des informations issues de ces capteurs par la génération automatique d'alertes, afin de détecter et de signaler de manière précoce les situations à risques de décompensation cardiaque. Elle doit permettre également le partage et la prise en charge de connaissances hétérogènes pour intégrer les informations nécessaires au suivi de toute pathologie.

La détection précoce de la décompensation cardiaque passe par l'intégration de données issues de plusieurs facteurs qui sont : le signal issu de l'ECG², les sons cardiaques PCG³, le poids, la tension artérielle, la saturation du sang en oxygène, l'ergonomie du patient ainsi que l'ajout d'un suivi diététique basé sur les données phénotypiques de chaque patient (médecine personnalisée). Tous ces éléments, consolidés avec le profil du patient, peuvent permettre une détection des anomalies cardiaques. Ils permettent

1. www.projet-e-care.fr

2. Electro Cardio Gramme

3. Phono Cardio Gramme

également de prévenir des situations à risques de décompensation cardiaque.

Le chapitre précédent a présenté la méthode ASPECS et son adaptation à la problématique de la télésurveillance médicale. L'objectif du présent chapitre est d'appliquer cette méthodologie pour la modélisation et la construction du système de télésurveillance médicale dans le cadre précis du projet E-care.

En particulier, la phase d'analyse du SMA qui va satisfaire les objectifs du projet va être décrite. Cette phase est composée en onze activités. L'une des activités est la description de l'ontologie du problème. Dans ce chapitre nous proposons une ontologie de problème générique, qui peut être réutilisée dans d'autres systèmes de télésurveillance médicale.

Ce chapitre présente dans un premier temps le projet E-care puis chacune des sections suivantes présente une activité de cette méthodologie. La dernière section clôture le chapitre.

4.2/ DESCRIPTION DU DOMAINE

E-care est un système de télésurveillance médicale qui a pour but principal de récupérer et de traiter un ensemble de données médicales multi-sources.

La description du domaine du projet E-care a été faite en collaboration avec les experts médicaux du Centre Hospitalier de Strasbourg. D'autres sources ont été utilisées pour cette description, essentiellement les règles méthodologiques de la société européenne de cardiologie (ESC) (McMurray et al, 2012).

Le but du projet E-care n'est pas de diagnostiquer l'insuffisance cardiaque mais de détecter des situations dangereuses dans l'évolution de l'état de santé d'un patient atteint d'insuffisance cardiaque. La détection de ces anomalies se fait à travers la collecte et la transmission des données du patient depuis son domicile vers un serveur sécurisé. Lors de la détection d'une anomalie, une alerte est envoyée au personnel soignant qui doit avoir accès aux données des patients, et suivre leur état de santé. Le personnel soignant peut rajouter des données médicales concernant leurs patients comme les antécédents, les interventions chirurgicales, les allergies, etc.

Le stockage des données doit respecter la sécurité et leur vie privée du patient. Pour ce faire, la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL⁴) propose de crypter ces données ou les rendre anonymes. Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser l'anonymisation.

Pour répondre aux besoins du projet E-care, nous avons mis en avant trois buts princi-

4. www.cnil.fr

paux (Figure 4.1) :

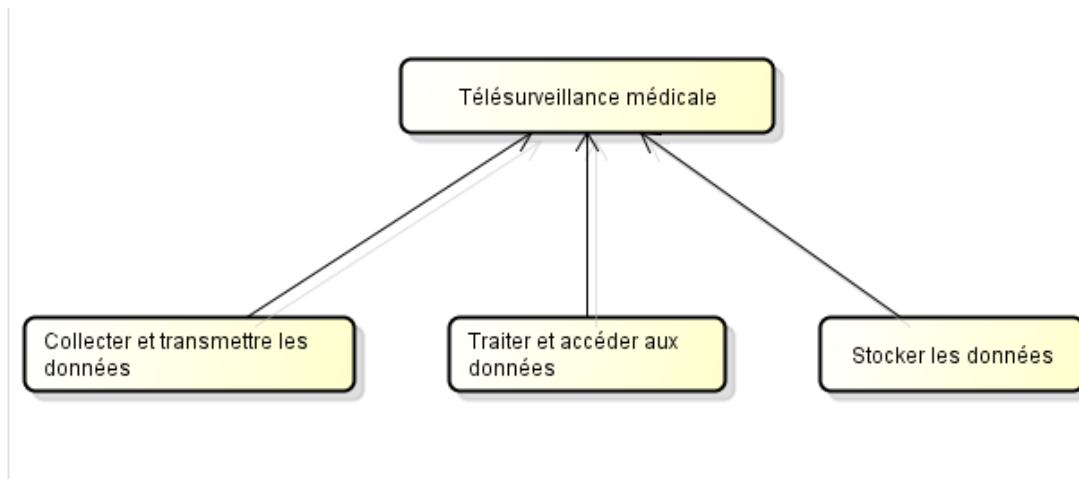


FIGURE 4.1 – Diagramme des buts

Collecter et transmettre les données : ce but se concrétise dans la prise des mesures auprès des patients dans le confort de leurs domiciles, et leurs transmissions vers un module distant suivant un protocole sécurisé. Traiter et accéder aux données : ceci se concrétise à partir de la collecte des mesures prises chez les patients par le traitement de ces données pour détecter des situations dangereuses dans leurs états de santé. Le traitement de ces données intègre également l'accès pour le personnel soignant aux données de leurs patients.

Stockage des données : ce but se traduit par l'introduction et la sécurisation des données sur un support de stockage. Le but est également de fournir un accès aux données, en répondant aux requêtes reçues.

4.3/ DESCRIPTION DE L'ONTOLOGIE DU PROBLÈME

L'objectif global de la description de l'ontologie du problème est de fournir une vue conceptuelle d'ensemble du problème en cours d'étude. Cette activité approfondit la compréhension du problème avec une description des concepts qui composent le domaine du problème. L'ontologie du problème est modélisée en utilisant un diagramme de classes où les concepts, les attributs et les actions sont identifiés par des stéréotypes spécifiques (FIPA ACL, 2002). Ces stéréotypes sont :

- «concept» : pour désigner une entité du domaine ;
- «action» : pour désigner une transformation d'un concept ;
- «predicate» : pour désigner un prédicat relatif à un ensemble de concepts.

4.3.1/ ONTOLOGIE DU PROBLÈME GÉNÉRIQUE

Nos travaux sur différents projets en télésurveillance médicale nous ont poussés à construire un modèle générique commun. Ce modèle générique est représenté par l'ontologie du problème qui possède un haut niveau d'abstraction.

Le diagramme UML de la Figure 4.2 présente notre proposition d'ontologie relative au domaine d'intérêt, à savoir la télésurveillance médicale.

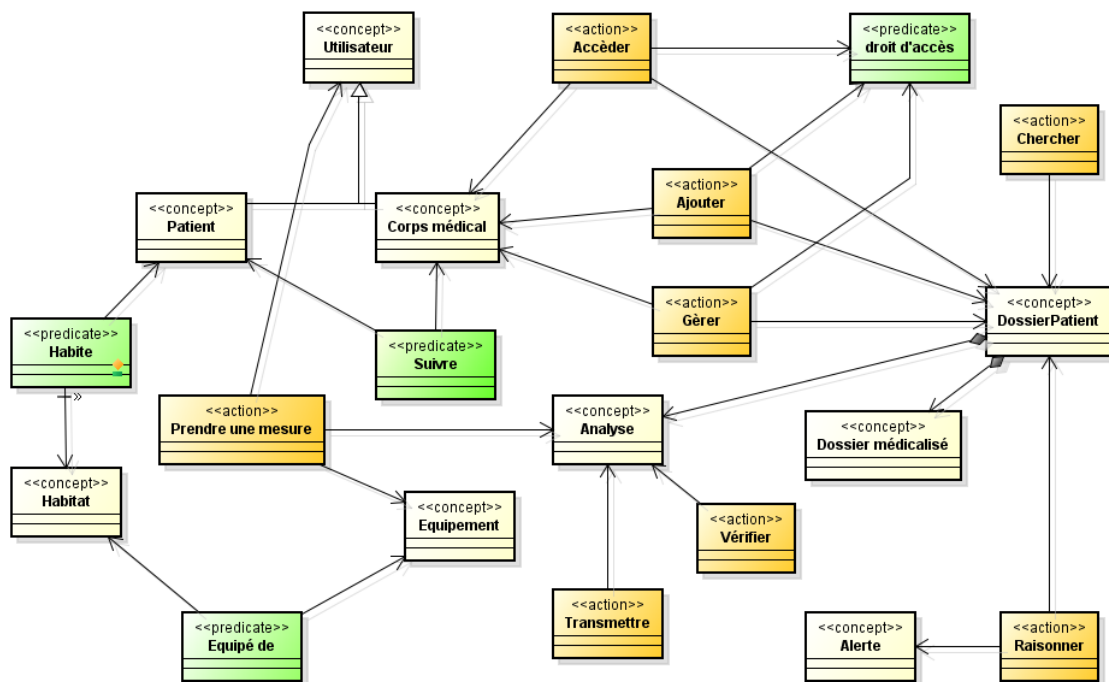


FIGURE 4.2 – Ontologie du problème générique

La classe « Utilisateur » représente les différents acteurs du système. Elle possède principalement de deux sous-classes, « patient » et « corps médical ». La classe « corps médical » peut être constituée de un ou plusieurs types d'utilisateurs (infirmier, médecin, équipe d'intervention, etc.). Une personne du corps médical peut suivre un ou plusieurs patients, en consultant et en modifiant leurs données et en recevant les alertes associées. Les données du patient étant personnelles et privées, pour y accéder, il faut avoir les droits nécessaires. La classe « patient » représente les personnes sujettes à la télésurveillance. Toute l'architecture est centrée sur le patient. En effet, les analyses ainsi que le dossier médical concernent directement un patient, le corps médical suit un patient, et un patient est affecté à un habitat. Cette classe peut avoir des sous-classes selon le besoin et les types de patients.

La classe « Dossier patient » représente les données du patient. Elle est composée principalement de deux classes, « Dossier médicalisé » et « Analyse ». La classe « Dossier

médicalisé » contient toutes les informations du patient, son profil, son contexte, ses antécédents, ses hospitalisations, etc. Ce contenu dépend du (ou des) domaine(s) de télésurveillance. Ce sont les experts médicaux qui jugent les informations utiles à rajouter dans ce dossier.

La classe « Analyse » représente toutes les données collectées concernant le patient. Toujours selon les spécialisations du système de télésurveillance médicale, cette classe peut contenir des mesures de capteurs (données physiologiques, données comportementales, données environnementales, données de localisation, etc.), des résultats de tests médicaux, des imageries et des radios ou d'autres examens médicaux. La prise de mesures se fait par le patient ou le personnel soignant selon les droits d'accès et les spécifications du système.

La classe « Habitat » représente l'endroit où le patient habite durant la télésurveillance médicale. Le patient peut être hospitalisé dans un hôpital, établissement d'hébergement pour personnes âgées (EHPAD), une maison de retraite ou à son domicile. Dans ces contextes, un habitat est équipé de matériel, et un ou plusieurs patients sont affectés à un habitat.

La classe « Équipement » représente l'équipement nécessaire pour accomplir les différentes tâches de télésurveillance ainsi que les différents capteurs utilisés pour la collecte des données de la classe « Analyse ». On peut y retrouver les capteurs physiologiques, les capteurs d'activité, les capteurs de localisation et d'autres matériels médicaux (scanner, IRM, etc.). Parmi le matériel utilisé, il y a également les passerelles qui servent à collecter puis transmettre les données. Une passerelle peut être une tablette, un smartphone ou tout autre dispositif remplissant cette fonction.

La classe « Alerte » représente les alertes détectées qui représentent des situations à risque. Ces alertes sont envoyées au personnel soignant (corps médical) suivant le patient concerné.

Cette ontologie de haut niveau d'abstraction est générique et peut être spécifiée, par la suite, dans un système de télésurveillance spécifique à une pathologie ou une catégorie de patient. La partie suivante détaille chaque classe dans le cadre du projet E-care.

4.3.2/ ONTOLOGIE DU PROBLÈME E-CARE

Après la construction de l'ontologie du problème générique (de haut niveau d'abstraction), nous avons détaillé nos besoins au sein du projet E-care, et nous avons construit l'ontologie de problème spécifique à ce projet en nous appuyant sur la méthode définie dans le chapitre précédent.

L'ontologie du problème étant assez conséquente, nous allons présenter chaque classe de l'ontologie générique séparément en la détaillant avec les spécificités du projet E-care.

4.3.2.1/ MODÉLISATION

La classe « utilisateur » Figure 4.3

La classe utilisateur a trois sous-classes : administrateurs du système, patient et corps médical.

La classe « Administrateur système » représente les utilisateurs ayant accès à l'administration du système (gestion des comptes, gestions des droits d'accès, gestions des logs, etc.). Pour la classe patient, elle est composée de deux classes « Profil civil » et « Profil médical » disjointes pour des raisons d'anonymisation des données médicales. Pour la classe « Corps médical », trois sous-classes ont été rajoutées (infirmier, médecin et administrateur médical). La classe « Corps médical » contient plusieurs attributs, un numéro professionnel, un service, un établissement, etc. Chaque sous-classe de la classe « Corps médical » a des attributs plus spécifiques comme l'attribut « spécialité » pour les médecins. Pour avoir une anonymisation complète, la classe patient est abstraite, autrement dit elle ne peut pas avoir d'instance. Elle ne contient aucun attribut non plus, car les données civiles et les données médicales ne doivent avoir rien en commun. La classe « Profil civil » a comme attributs toutes les informations publiques nécessaires (Nom, prénom, adresse, numéro de sécurité sociale, numéro de dossier, etc.). La classe « Profil médical » a comme attributs tout ce qui concerne les données médicales (mesures, analyses, antécédents, médicament, etc.).

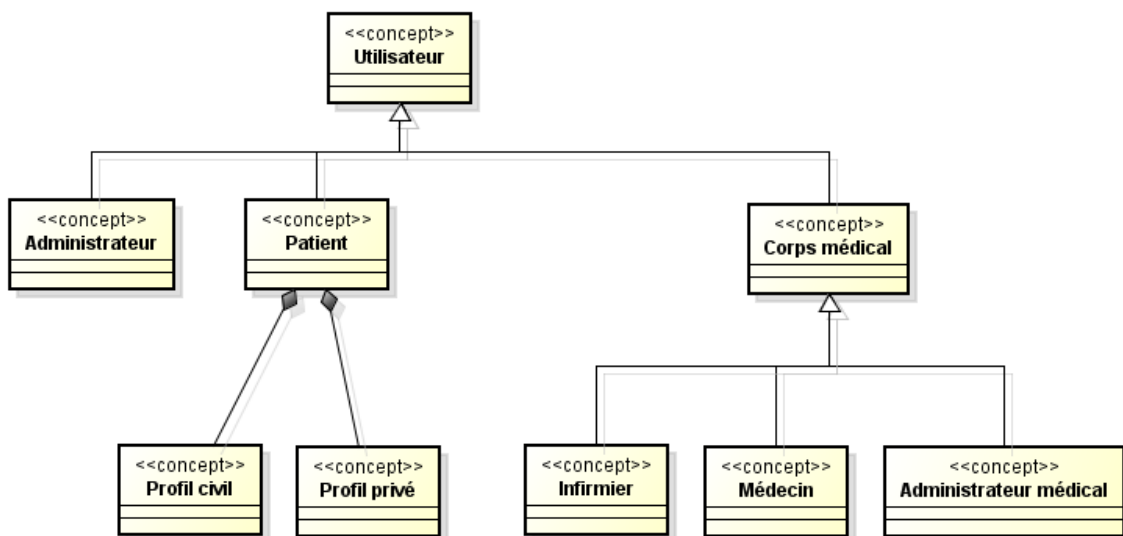


FIGURE 4.3 – Classe Utilisateur

La classe « Analyse » Figure 4.4

La classe « analyse » contient les mesures prises. Chaque mesure est reliée au patient. Dans le projet E-care seule les mesures physiologiques sont utilisées. Toutes les mesures ont comme attributs (Patient, valeur, unité, date) et les alertes (Patient, cause, date, degré de sévérité). ECG et PCG ont des attributs de plus, comme la durée de la systole et de la diastole.

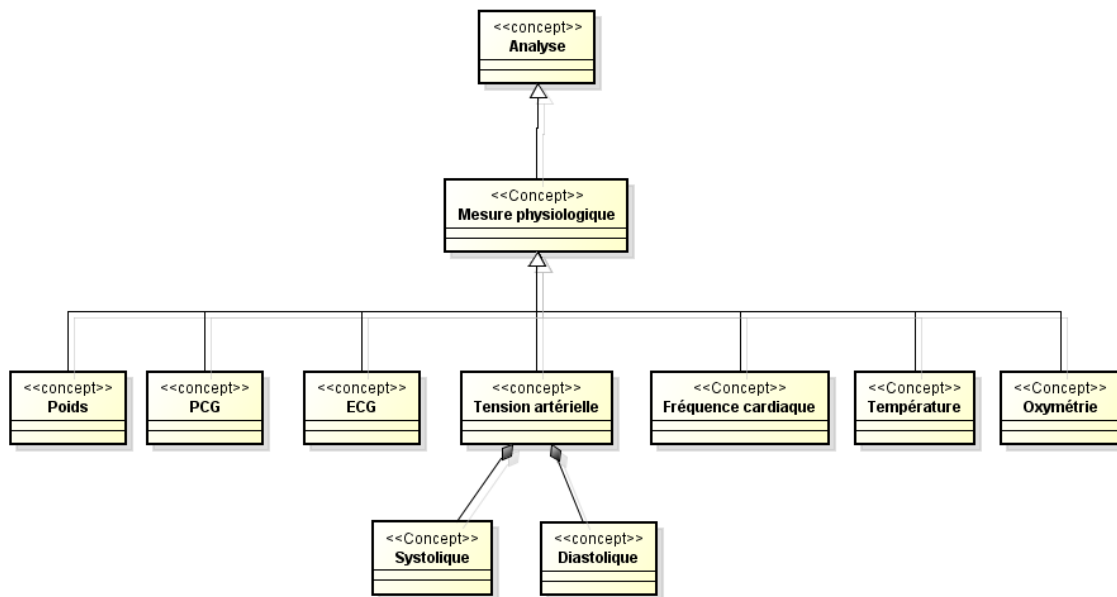


FIGURE 4.4 – Classe analyse

La classe « Equipement » Figure 4.5

La classe « Equipement » contient les équipements utilisés. Une tablette est utilisée en tant que passerelle pour envoyer les données collectées chez le patient. La classe « Matériel » a comme attributs (Numéro de série, adresse mac, modèle, marque, caractéristiques, etc.). Différents types de capteurs sont utilisés, pour chacun il existe une classe correspondante.

La classe « Dossier médicalisé » figure 4.6

La classe « Dossier médical » est composée de six classes :

- L'historique des médicaments représente les traitements en cours ou prescrits précédemment. Cette classe a comme attributs (nom du médicament, dose, date de début, date de fin) ;
- Les facteurs de risques cardiovasculaires sont des points sensibles dans l'insuffisance cardiaque, tel que : le tabagisme, l'insuffisance rénale, l'hypertension artérielle, etc.
- La classe « Habitude alimentaire » représente l'historique de ce que consomme le patient d'habitude, en précisant la quantité de sel et d'alcool ;

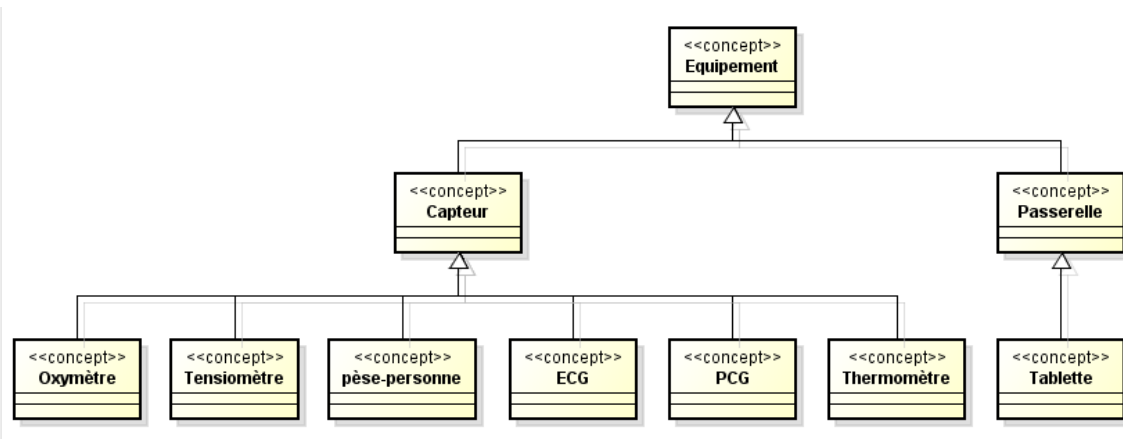


FIGURE 4.5 – Classe Equipement

- La classe « allergie » dénombre les allergies d'un patient. Elle a comme attributs le type d'allergie (médicamenteux ou pas), le nom de l'allergie et la cause ;
- La classe « activité physique » contient l'historique des activités physiques du patient. Les attributs sont : le type d'activité, la durée, la date ;
- La classe « Antécédent » représente tous les antécédents du patient. Nous y retrouvons les maladies et les interventions chirurgicales cardiaques ou non cardiaques. Comme attributs nous avons : date de début et date de fin et le nom de la maladie ou de l'intervention.

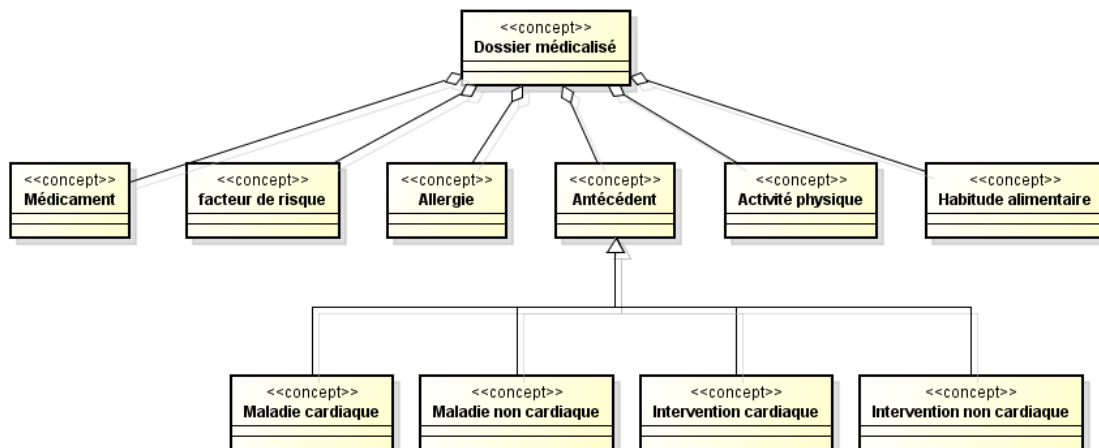


FIGURE 4.6 – Classe Dossier médicalisé

La classe « Habitat » Figure 4.7

Dans E-care nous distinguons deux types d'habitats : l'hôpital, destiné essentiellement aux expérimentations, et le domicile des patients. Un hôpital est composé de services. La première expérimentation s'est déroulée au sein du service interne du CHRU de Stras-

bourg.

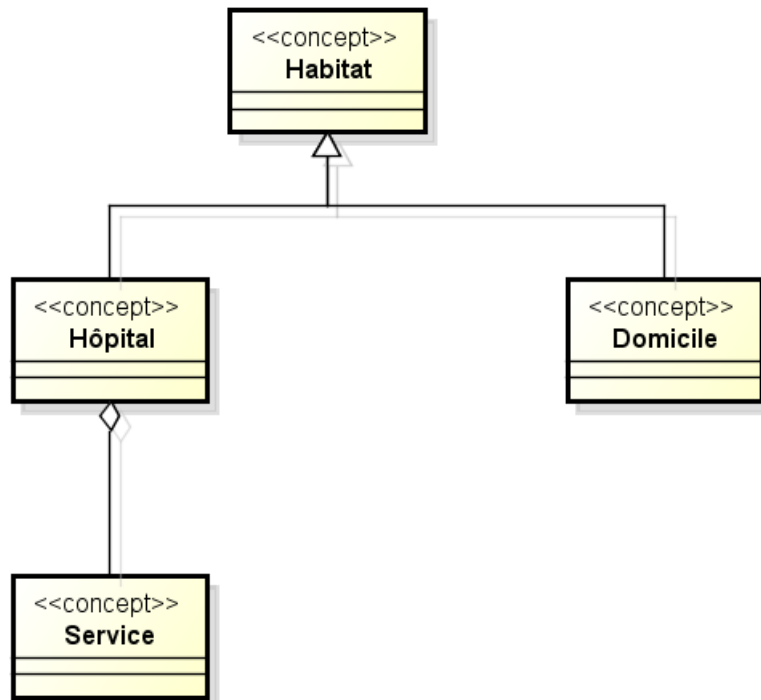


FIGURE 4.7 – Classe Habitat

La classe « Alerte » Figure 4.8

La classe « Alerte » représente les alertes détectées par le système expert. Chaque alerte est reliée à un patient. Cette classe a trois sous-classes selon le degré de sévérité de l'alerte détectée. La classe « Alerte sévère » représente les alertes du plus haut degré de sévérité, le patient doit alors être pris en charge le plutôt possible. La classe « Alerte modérée » représente les alertes de niveau moyen, le médecin est informé et c'est à lui de décider en conséquence. La classe « Notification » regroupe les conseils donnés aux patients suite à une mauvaise manipulation ou un changement climatique, ainsi que des notifications pour le corps médical.

4.3.2.2/ FORMALISATION

Par la suite, ces diagrammes ont été traduits dans un langage formel (OWL) avec l'outil Protégé. La figure 4.9 présente l'ontologie E-care sous Protégé.

4.4. DÉFINITION DES CONCEPTS À REPRÉSENTER EN ONTOLOGIES DE DOMAINE75

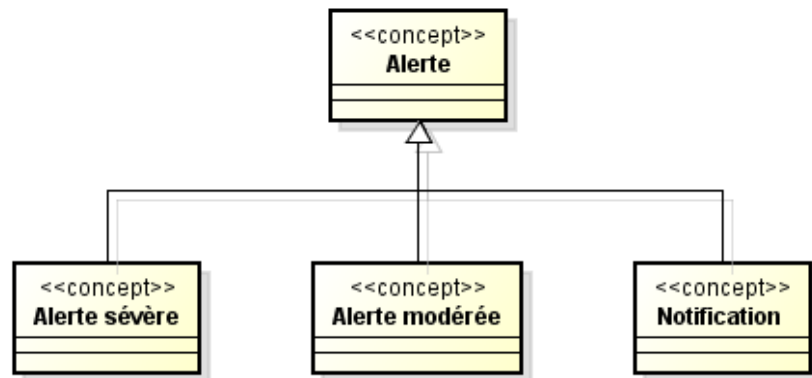


FIGURE 4.8 – Classe Alerte

4.3.2.3/ TEST D'INCOHÉRENCE

Pour tester la cohérence de l'ontologie développée, l'outil Pellet (Sirin et al, 2006) a été utilisé.

Lors des premières itérations, des incohérences ont été détectées, souvent à cause d'une erreur de formalisation et, dans de rares cas, cela a conduit à une redéfinition des spécifications.

4.3.2.4/ ÉVALUATION

L'ontologie a été évaluée par les experts médicaux en vérifiant la pertinence des données représentant le profil du patient. Plusieurs itérations ont été faites pour arriver à la version présentée ci-dessus.

4.4/ DÉFINITION DES CONCEPTS À REPRÉSENTER EN ONTOLOGIES DE DOMAINE

Pour répondre aux besoins des experts médicaux en matière de vocabulaire contrôlé et rajouter de la sémantique à nos données nous avons construit plusieurs ontologies de domaine.

Plusieurs besoins nous ont amené à construire des ontologies de domaine. Le premier vise à enrichir l'ensemble des concepts et relations de l'ontologie du système. L'idée est de faciliter la compréhension des instances et rendre l'inférence plus intuitive. De plus, grâce à ces ontologies, notre système peut communiquer ou intégrer d'autres systèmes

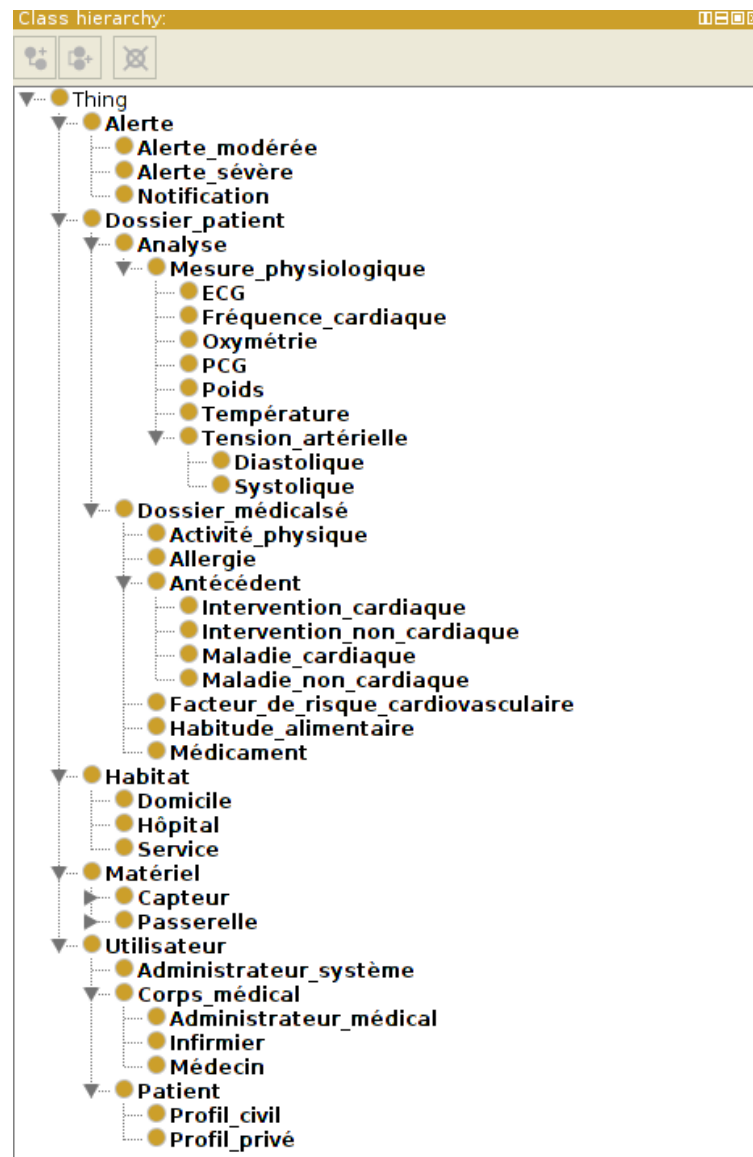


FIGURE 4.9 – Ontologie E-care

facilement. Le deuxième besoin défini par les experts médicaux, est la nécessité d'un vocabulaire contrôlé sur certaines classes de l'ontologie du système. Cela est plus ergonomique car ce vocabulaire permet d'éviter les erreurs de saisies et permet une collaboration non ambiguë entre les différents acteurs du système.

Dans nos travaux, nous avons construit des ontologies de domaine définissant un vocabulaire contrôlé pour quelques classes qui composent la classe « Dossier médicalisé » de l'ontologie du problème. Le but est que les instances de ces classes fassent référence aux instances des ontologies de domaine. Les classes prises en compte sont : Médicament, Antécédent et Facteur de risque cardiovasculaire. Les autres classes à savoir Activité physique, Allergie et Habitude alimentaire n'ont pas pu être formalisées.

4.5/ CONSTRUCTION DES ONTOLOGIES DE DOMAINE

Nous avons construit trois ontologies de domaine suivant la méthodologie décrite dans le chapitre précédent. La construction de ces ontologies est détaillée dans ce qui suit.

4.5.1/ ONTOLOGIE DE DOMAINE POUR LES ANTÉCÉDENTS

La classe « Antécédent » contient l'historique des maladies (cardiaques et non cardiaques) et l'historique des interventions (cardiaques et non cardiaques). Nous avons appliqué la méthode présentée dans le chapitre 3 détaillant les activités de construction d'une ontologie de domaine. La première activité étant l'étude des ressources existantes.

4.5.1.1/ ÉTUDE DES RESSOURCES EXISTANTES

Dans le domaine médical, il existe plusieurs ressources, quelques-unes sont décrites dans le chapitre 2. Après études de ces ressources, nous avons choisi d'utiliser la classification de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) la CIM-10 (Classification Internationale des Maladies traduction de la ICD International Classification of Diseases). La CIM-10 répond parfaitement à nos besoins pour la classe « antécédent ». Elle est indexée et hiérarchisée ce qui facilite la construction de l'ontologie.

La CIM-10 est constituée de 22 chapitres et chaque chapitre est composé de plusieurs blocs. Les interventions hospitalières et chirurgicales sont classées dans le chapitre XXI, bloc Z80-Z99. Le chapitre IX représente les maladies cardiaques. D'autres maladies cardiaques existent dans le chapitre XVII, bloc Q20-Q28.

Chaque bloc est une hiérarchie, ci-dessous un exemple est présenté :

Bloc A00-A09 : Maladies intestinales infectieuses

- A00 : Choléra
 - A00.0 : A *Vibrio cholerae* 01, biovar cholerae (Choléra classique)
 - A00.1 : A *Vibrio cholerae* 01, biovar El Tor (Choléra El Tor)
 - A00.9 : Choléra, sans précision
- A01 : Fièvres typhoïde et paratyphoïde
 - A01.0 : Fièvre typhoïde (Infection due à *Salmonella typhi*)
 - A01.1 : Paratyphoïde A
 - A01.2 : Paratyphoïde B
 - A01.3 : Paratyphoïde C

4.5.1.2/ DÉFINIR LES CLASSES ET LA HIÉRARCHIE DES CLASSES

La définition des classes reprend une partie de la hiérarchie de la CIM-10. Nous avons choisi de représenter sous forme de classes uniquement les deux premiers niveaux de la CIM-10, à savoir, les chapitres et les blocs. Le reste de la hiérarchie est représenté par des instances. Ceci est justifié par le fait que le niveau 3 peut être utilisé pour décrire le dossier du patient, par exemple, A00 : Choléra. Dans cet exemple, A00 est de niveau 3 et peut être utilisé pour dire que le patient a ou avait le Choléra.

La construction des classes a été faite avec un algorithme automatique. Cet algorithme reçoit en entrée la CIM-10 sous format XML et génère en sortie un fichier OWL contenant les classes en utilisant les index des éléments de la CIM-10. Par la suite, le fichier OWL de sortie a été introduit sous l'outil Protégé pour vérifier l'absence d'erreurs.

4.5.1.3/ DÉFINIR LES PROPRIÉTÉS DES CLASSES – ATTRIBUTS

Dans l'ontologie créée à partir de la CIM-10, nous avons utilisé comme attribut l'annotation RDFS « label ». L'attribut « label » représente le nom de l'élément existant dans la CIM-10. Exemple l'élément A00 a un attribut « label » Choléra. Comme il a été présenté dans la partie précédente, la hiérarchie des classes représente les deux premiers niveaux, Chapitres et Blocs. Pour représenter la hiérarchie au sein d'un bloc de la CIM-10, une relation « Spécialisation » a été créée. Cela permet de dire qu'une instance A de la CIM-10 est une spécification d'une instance B, et de même l'instance B est une généralisation de l'instance A. Exemple : A01.0 (Fièvre typhoïde (Infection due à *Salmonella typhi*)) a une relation « Spécialisation » avec A01 (Fièvres typhoïde et paratyphoïde).

4.5.1.4/ DÉFINIR LES FACETTES DES ATTRIBUTS

Nom	Domain	Range	Contrainte
label	Thing	String	Max =1, Min =1
Spécialisation	Thing	Thing	Min =0, Max =1

TABLE 4.1 – Facettes des attributs de l'ontologie des antécédents

4.5.1.5/ CRÉER LES INSTANCES

De la même manière que pour les classes, les instances, vu leur nombre, ont été créées à l'aide d'un algorithme automatique. L'algorithme utilisé pour les classes a été étendu

pour générer également les instances. Il fournit en sortie un fichier OWL. Par la suite, le fichier OWL de sortie a été introduit dans l'outil Protégé comme le montre la figure 4.10.

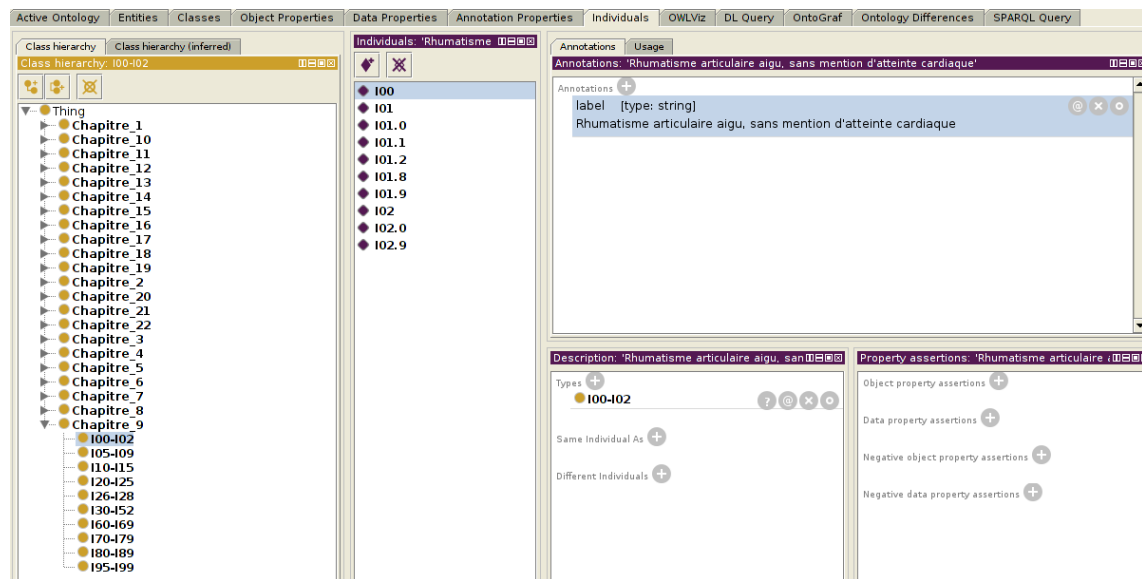


FIGURE 4.10 – Ontologie de domaine des maladies

4.5.1.6/ TEST D'INCONSISTANCE ET D'INCOHÉRENCE

Les tests d'incohérences ont été faits avec l'outil Pellet intégré dans Protégé. Vu la bonne structuration de la CIM-10, aucune incohérence n'a été détectée.

4.5.1.7/ ÉVALUATION

L'évaluation a été faite par les experts médicaux, validant ainsi cette ontologie.

4.5.1.8/ ÉVOLUTION

Vu l'évolution de la CIM-10, cette ontologie des antécédents le sera en parallèle. Ces manipulations restent a priori simples et faciles à mettre en œuvre au vu de la simplicité de manipulation des ontologies.

4.5.2/ ONTOLOGIE DE DOMAINE POUR L'HISTORIQUE DES MÉDICAMENTS

La classe « Médicament » contient l'historique des médicaments prescrits au patient. De la même manière que pour l'ontologie des antécédents, nous avons appliqué la méthode

présentée dans le chapitre 3 détaillant les activités de construction d'une ontologie de domaine. La première activité étant l'étude des ressources existantes.

4.5.2.1/ ÉTUDE DES RESSOURCES EXISTANTES

Dans le domaine thérapeutique, il existe plusieurs ressources que nous pourrions utiliser. Après études de ces ressources, nous avons choisi d'utiliser la classification des médicaments ATC (Anatomical Therapeutic Chemical). Le système de classification ATC (Anatomique Thérapeutique Chimique) est recommandé par l'OMS.

Dans le système ATC, les médicaments sont divisés en plusieurs groupes selon l'organe ou le système sur lequel ils agissent, et selon leurs propriétés chimiques, pharmacologiques et thérapeutiques.

La classification ATC est basée sur architecture de 5 niveaux, le premier niveau est composé de 14 groupes principaux, selon l'organe ou le système traité. Les 5 niveaux sont :

- Niveau 1 : groupe anatomique principal ;
- Niveau 2 : sous-groupe thérapeutique ;
- Niveau 3 : sous-groupe pharmacologique ;
- Niveau 4 : sous-groupe chimique ;
- Niveau 5 : substance chimique.

Exemple :

Niveau	Code	Désignation
1	A	Voies digestives et métabolisme
2	A10	Médicaments utilisés dans le diabète
3	A10B	Médicaments réduisant le glucose sanguin, hors insulines
4	A10BA	Biguanides
5	A10BA02	Metformin

TABLE 4.2 – Exemple de la hiérarchie ATC

4.5.2.2/ DÉFINIR LES CLASSES ET LA HIÉRARCHIE DES CLASSES

La définition des classes reprend les quatre premiers niveaux de la hiérarchie de l'ATC. Le cinquième niveau de la hiérarchie est représenté par des instances. Ceci est justifié par le fait que seul le niveau 5 représente les substances chimiques des médicaments.

Comme pour l'ontologie de domaine des antécédents, la construction des classes a été faite avec un algorithme automatique. Cet algorithme reçoit en entrée la ATC sous format XML et génère en sortie un fichier OWL contenant les classes à partir de l'index des éléments de l'ATC.

4.5.2.3/ DÉFINIR LES PROPRIÉTÉS DES CLASSES – ATTRIBUTS

Comme pour l'ontologie créée à partir de la CIM-10, nous avons utilisé comme attribut l'annotation RDFS « label ». L'attribut « label » représente le nom de l'élément existant dans la ATC. Par exemple l'élément A10VA02 a un attribut « label » Metformin.

4.5.2.4/ DÉFINIR LES FACETTES DES ATTRIBUTS

Nom	Domain	Range	Contrainte
label	Thing	String	Max =1, Min =1

TABLE 4.3 – Facettes des attributs de l'ontologie des médicaments

4.5.2.5/ CRÉER LES INSTANCES

De la même manière que pour les classes, vu le nombre d'instances, elles ont été créées à l'aide d'un algorithme automatique. L'algorithme utilisé pour les classes a été étendu pour générer également les instances et fournir en sortie un fichier OWL. Par la suite, le fichier OWL de sortie a été introduit dans l'outil Protégé comme le montre la figure 4.11.

4.5.2.6/ TEST D'INCONSISTANCE ET D'INCOHÉRENCE

Les tests d'incohérence ont été faits avec l'outil Pellet intégré dans Protégé. Vu la bonne structuration de la ATC, aucune incohérence n'a été détectée.

4.5.2.7/ ÉVALUATION

L'évaluation a été faite par les experts médicaux, validant ainsi cette ontologie.

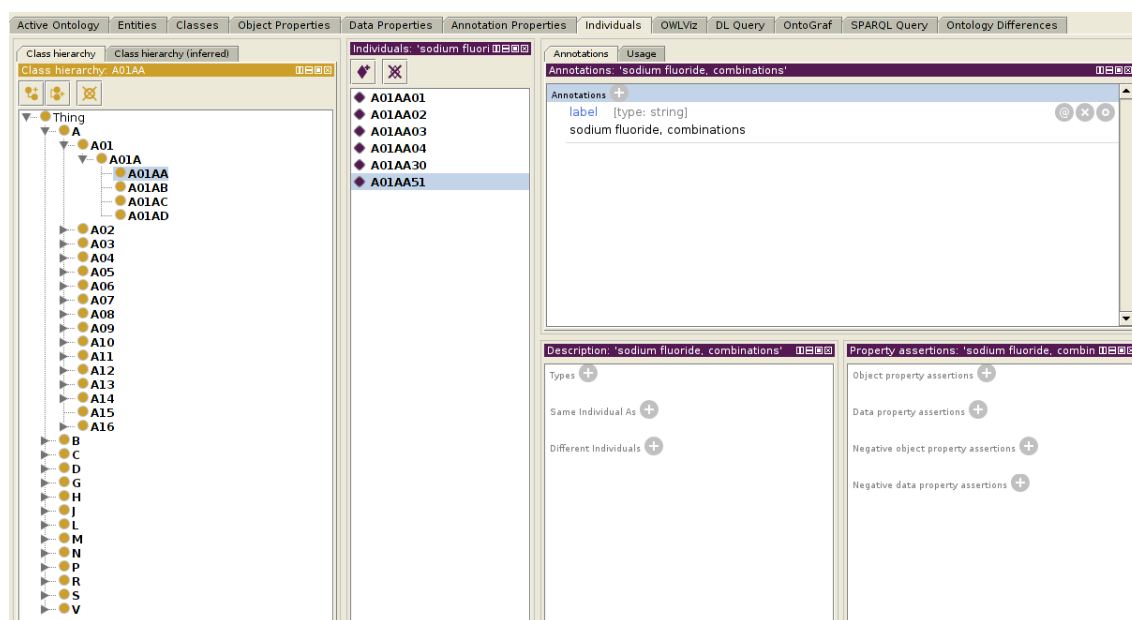


FIGURE 4.11 – Ontologie de domaine des médicaments

4.5.2.8/ ÉVOLUTION

Vu l'évolution de la classification ATC, cette ontologie le restera de la même manière. Ceci n'est pas très fastidieux vu la simplicité de manipulation des ontologies, et le coût bas de mise à jour.

4.5.3/ ONTOLOGIE DE DOMAINE POUR LES FACTEURS DE RISQUES CARDIOVASCULAIRES

Il était nécessaire selon les experts médicaux de définir un vocabulaire contrôlé pour les facteurs de risques cardiovasculaires. De la même manière que les deux premières ontologies de domaine (antécédents et médicaments), nous avons appliqué la méthode présentée dans le chapitre précédent.

4.5.3.1/ ÉTUDE DES RESSOURCES EXISTANTES

Après une recherche dans littérature, aucune ressource en mesure de satisfaire nos besoins n'a été trouvée.

Nous avons décidé de construire notre propre vocabulaire contrôlé en utilisant les connaissances des experts médicaux.

Dans ce cas, et suivant la méthode définie dans le chapitre précédent, la prochaine étape

est l'énumération des termes importants. Cette étape était omise dans les 2 premières ontologies au vu de l'usage des classifications.

4.5.3.2/ ÉNUMÉRATION DES TERMES IMPORTANTS

Suite à un travail collaboratif avec les experts médicaux, nous sommes arrivés à définir une liste de termes qui représentent les facteurs de risques cardiovasculaires. Ces termes sont :

- Diabète ;
- Dyslipidémie ;
- Hypertension artérielle (HTA) ;
- Insuffisance rénale ;
- Stress ;
- Surcharge pondérale ;
- Sédentarité ;
- Tabac.

4.5.3.3/ DÉFINITION DES CLASSES ET LA HIÉRARCHIE DES CLASSES

Vu le petit nombre des termes, aucune hiérarchie n'a été créée. Une seule classe « facteur de risques cardiovasculaires » a été créée pour contenir les termes définis en tant qu'instances.

4.5.3.4/ DÉFINIR LES PROPRIÉTÉS DES CLASSES – ATTRIBUTS

Comme pour les deux premières ontologies, nous avons utilisé comme attribut l'annotation RDFS « label ». L'attribut « label » représente le nom du facteur de risque cardiovasculaire. Exemple l'instance « HTA » a un attribut « label » « Hypertension artérielle ».

Une deuxième annotation RDFS « isDefinedBy » a été utilisée, pour donner une définition aux termes si nécessaire. Par exemple : Sédentarité à un attribut « isDefinedBy » qui contient : sédentarité (inférieur à 3x30 min de sport par semaine).

Nom	Domain	Range	Contrainte
label	Thing	String	Max =1, Min =1
isDefinedBy	Thing	String	Max =1, Min =0

TABLE 4.4 – Facettes des attributs de l'ontologie des facteurs de risques cardiovasculaires

4.5.3.5/ DÉFINIR LES FACETTES DES ATTRIBUTS

4.5.3.6/ CRÉER LES INSTANCES

La création des instances a été faite avec l'outil protégé. La figure 4.12 représente l'ontologie des facteurs de risques cardiovasculaire.

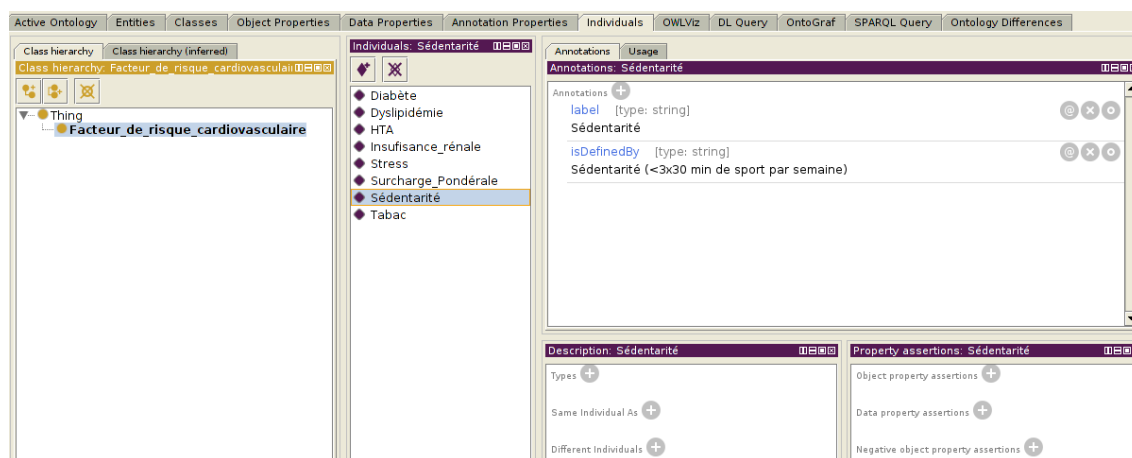


FIGURE 4.12 – Ontologie de domaine des facteurs de risques cardiovasculaires

4.5.3.7/ TEST D'INCONSISTANCE ET D'INCOHÉRENCE

Les tests d'incohérence ont été faits avec l'outil Pellet intégré dans Protégé. Aucune incohérence n'a été détectée.

4.5.3.8/ ÉVALUATION

L'évaluation a été faite par les experts médicaux, validant ainsi cette ontologie.

4.5.3.9/ ÉVOLUTION

La liste des facteurs de risques cardiovasculaires reste non exhaustive. Ceci implique que cette ontologie est amenée à évoluer, notamment pour ajouter de nouvelles instances.

4.6. DÉFINITION DES LIENS ENTRE LES ONTOLOGIES DE DOMAINE ET L'ONTOLOGIE DU PROBLÈME

L'évolution peut consister également en la création d'une hiérarchie selon le besoin.

4.6/ DÉFINITION DES LIENS ENTRE LES ONTOLOGIES DE DOMAINE ET L'ONTOLOGIE DU PROBLÈME

L'intégration de ces ontologies de domaine dans le projet E-care et leur utilisation pour rajouter de la sémantique à l'ontologie du système constituent une base ontologique. Pour cela, il faut créer des relations entre les différentes ontologies.

Plusieurs relations entre les classes composant la classe « Dossier médicalisé » et les ontologies de domaine ont été créées. Ces relations sont décrites dans le tableau 4.5

Nom	Domain	Range
DMH (Domaine historique médicament)	Médicament (Ontologie du problème)	Thing (Ontologie des médicaments)
DHFR (Domaine historique facteur de risque)	Facteur de risque (Ontologie du problème)	Thing (Ontologie des facteurs de risques cardiovasculaires)
DHIC (Domaine historique intervention cardiaque)	Intervention cardiaque (Ontologie du problème)	Z80-Z99 (Bloc de l'ontologie des maladies)
DHINC (Domaine historique intervention non cardiaque)	Intervention non cardiaque (Ontologie du problème)	Z80-Z99 (Bloc de l'ontologie des maladies)
DHMC (Domaine historique maladie cardiaque)	Maladie cardiaque (Ontologie du problème)	Chapitre 9, Q20-Q28 (l'ontologie des maladies)
DHMNC (Domaine historique maladie non cardiaque)	Maladie non cardiaque (Ontologie du problème)	Thing (Ontologie des maladies)

TABLE 4.5 – Relations entre l'ontologie du problème et les ontologies de domaine

4.7/ DESCRIPTION DU SYSTÈME EXPERT

Dans le cadre du projet E-care, nous avons développé un système expert pour la détection de situations dangereuses. Chaque détection d'occurrence de situation dangereuse s'exprime par une alerte transmise au personnel soignant en charge du patient

concerné. Ces données peuvent aider le médecin à diagnostiquer le patient en lui fournissant des informations sur l'évolution de son état de santé.

Ce système expert est constitué : d'un moteur d'inférences, d'une base de fait et de règles d'inférences. L'ontologie du problème ainsi que les ontologies de domaines constituent la base de fait. Par la suite des règles d'inférences ont été décrites en respectant la description des ontologies. Ces règles sont constituées de clauses faisant parties de la base de fait (ontologie du problème et ontologies de domaine). Suivant ces règles, le moteur d'inférences produit des alertes de trois types (Alerte sévère, alerte modérée, notification) comme décrit dans la partie 3.2.1.6 (figure 4.8).

Exemple de règles :

- Canicule ALORS notification (il faut boire de l'eau).
- Prise de poids de plus de 2 Kg en moins de 2 jours ALORS Alerte sévère.

Ces règles d'inférences ont été définies de deux manières. La définition des règles par les experts médicaux et l'exploitation de règles méthodologiques existantes.

La définition des règles par les experts médicaux s'est fait de manière progressive. La première étape consiste à définir des seuils généraux pour tous les patients en prenant en compte, dans un premier temps, les mesures physiologiques (poids, température, pression artérielle, fréquence cardiaque, saturation en O₂) et en introduisant progressivement le profil du patient et ses données médicales. Par la suite, des règles adaptables à chaque patient ont été rajoutées en utilisant des valeurs de références propres à chaque patient. À ce jour, les règles intégrées prennent en compte les mesures physiologiques, le profil du patient, les médicaments, les antécédents cardiaques et les facteurs de risques cardiovasculaires. D'autres informations seront prises en compte comme le contexte du patient (mode de vie, climat, habitat, etc.).

Toujours en collaboration avec les experts médicaux, nous avons étudié les règles citées dans (McMurray et al, 2012). Ces règles proposent une analyse biologique et biochimique de l'insuffisance cardiaque. Grace à ces règles, la base de règles a pu être enrichie avec de nouvelles règles comportant des examens biochimiques comme le BNP (B-type natriuretic peptide).

Exemples de règle :

- BNP entre 100 et 300 ALORS Alerte modérée
- BNP supérieur à 300 ALORS Alerte sévère

Les règles définies sont par la suite formalisées en langage SWRL⁵ (Semantic Web Rule

5. www.w3.org/Submission/SWRL/

Language) (Parsia et al, 2005). La formalisation a été faite dans l'outil Protégé.

4.8/ IDENTIFICATION DES ORGANISATIONS

Dans l'activité d'identification des organisations, chaque but est affecté à une organisation qui va avoir pour objectif, par interaction des rôles qui vont composer l'organisation, de satisfaire ce but. Les buts identifiés dans la section 2 (figure 4.1), sont affectés à des organisations selon les relations décrites dans la Figure 4.13. Une organisation globale, appelée télésurveillance médicale, représente les interactions pour le SMA complet. Cette organisation se décompose en trois sous-organisations.

La première sous-organisation, « Collecte et transmission », s'occupe de collecter les mesures prises, de vérifier leur cohérence et leurs valeurs puis les transmet à l'organisation « Traitement et accès ». Les rôles qui composent cette organisation vont être mis en œuvre par des agents déployés dans l'habitat du patient. Cette organisation doit satisfaire un protocole de transmission standard et sécurisé.

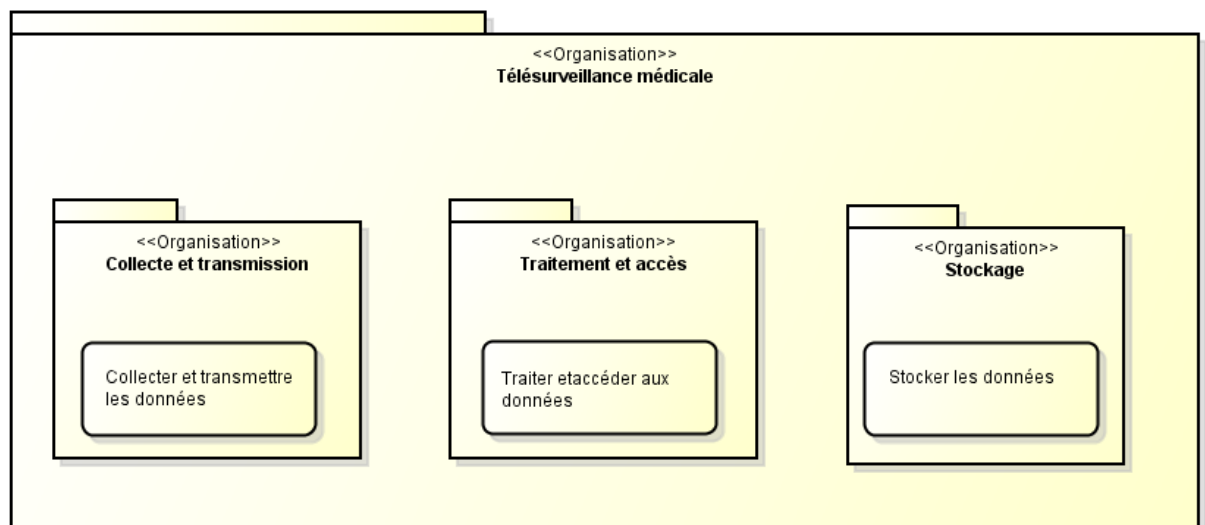


FIGURE 4.13 – Organisations

La deuxième sous-organisation, « Traitement et accès », s'occupe de la réception des données depuis les organisations « Collecte et transmission » ainsi que les autres données introduites directement par le personnel soignant. Ces données sont traitées automatiquement pour détecter des situations dangereuses pour l'état de santé du patient. Cette sous-organisation assure également l'accès aux données.

La troisième sous-organisation, « Stockage », a pour objectif de stocker des données médicales, en respectant la sécurité et l'anonymat de ces données. Elle s'occupe également de répondre aux requêtes reçues.

4.9/ IDENTIFICATION DES RÔLES, LEUR PLAN ET LEURS SCENARIOS

4.9.1/ L'ORGANISATION COLLECTE ET TRANSMISSION

L'organisation « Collecte et transmission » (Figure 4.14) est composée de trois rôles. Le premier rôle « Capteur » désigne la prise des mesures par les dispositifs adéquats.

Le deuxième rôle, « Contrôleur des mesures », vérifie la fiabilité et la cohérence des mesures en les comparant à des seuils. Cette organisation étant autonome, ce contrôleur peut détecter des alertes et prévenir immédiatement le personnel soignant en charge du patient. Ce rôle représente un premier niveau basique de détection d'anomalies.

Le troisième rôle, « Transmission des mesures » assure la transmission des mesures vers l'organisation « Traitement et accès » aux données via des protocoles standards.

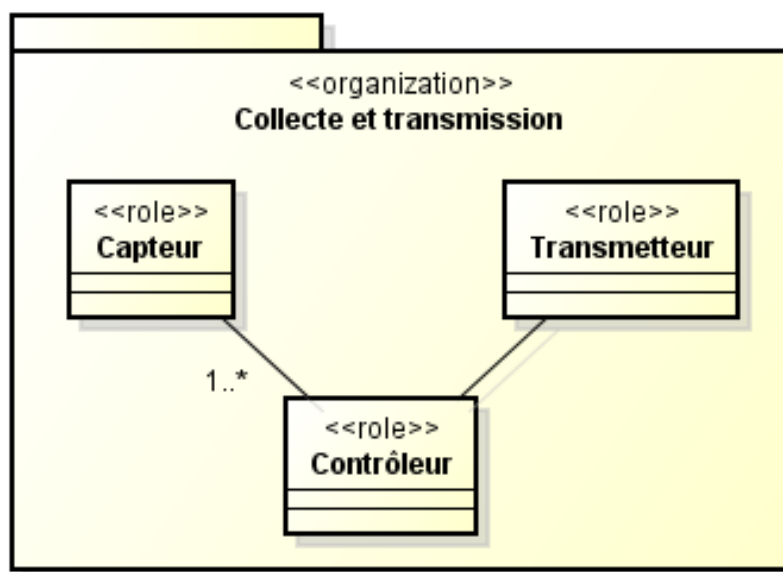


FIGURE 4.14 – Rôle de l'organisation Collecte et transmission

4.9.2/ L'ORGANISATION TRAITEMENT ET ACCÈS AUX DONNÉES

L'organisation « Traitement et accès » aux données est composée de trois rôles (figure 4.15).

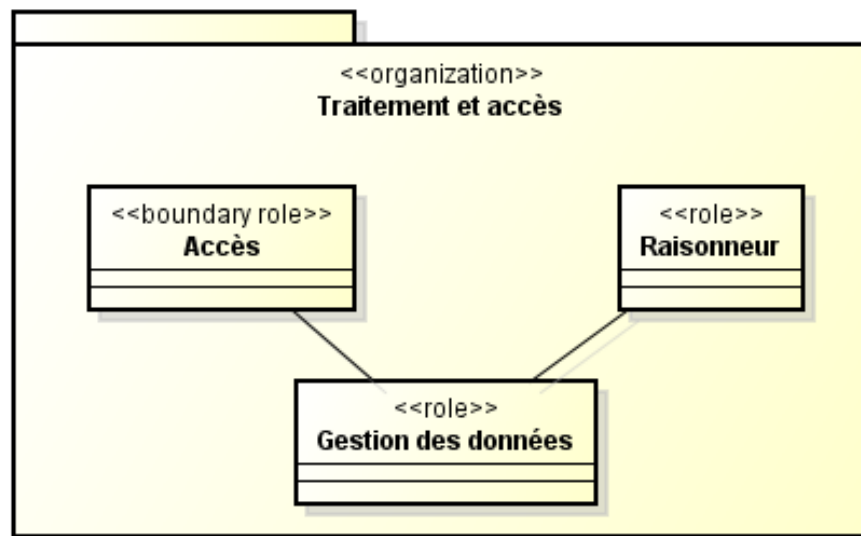


FIGURE 4.15 – Rôle de l'organisation Traitement et accès

Le rôle « Gestion des données », joue le rôle de médiateur. Il traduit les données reçues dans un langage ontologique et vérifie si ces données peuvent influencer l'état de santé du patient. Dans le cas de nouvelles données pouvant influencer l'état de santé du patient, le rôle « Gestion des données » interagit avec le rôle « Raisonneur ». Il s'occupe de la traduction des requêtes reçues dans un langage compréhensible par l'organisation « Stockage ». Ce rôle s'occupe également de la réception des données depuis les organisations « Collecte et transmission » des différents patients. Dans ce cas, les données sont envoyées à l'organisation « Stockage » et le « Raisonneur » est automatiquement activé.

Le rôle « Raisonneur » représente le système expert, il incarne le lancement du moteur d'inférences pour générer de nouvelles données et alertes. Les nouvelles données doivent être stockées et les alertes envoyées vers le personnel soignant responsable du patient.

Le rôle « Accès aux données » se caractérise par l'accès du personnel soignant aux données de leurs patients. Cet accès leur permet de rajouter de nouvelles données, comme le dossier médical du patient. Ce rôle donne également l'accès aux administrateurs du système pour la création des comptes et la gestion du système.

4.9.3/ L'ORGANISATION STOCKAGE

L'organisation « Stockage », est composée de trois rôles (Figure 4.16).

Le rôle Interface, fait office d'interface entre l'organisation « Traitement et accès » et les rôles de l'organisation « Stockage ». Il s'occupe de la réception des requêtes puis les achemine vers le rôle correspondant (requête d'ajout de donnée ou de recherche). Cette interface doit respecter un standard de communication sécurisé.

Le rôle « Chercher », s'occupe de rechercher dans les données enregistrées, les données satisfaisant la requête.

Le rôle « Ajouter » assure l'enregistrement des données et renvoie une confirmation de la bonne insertion des données.

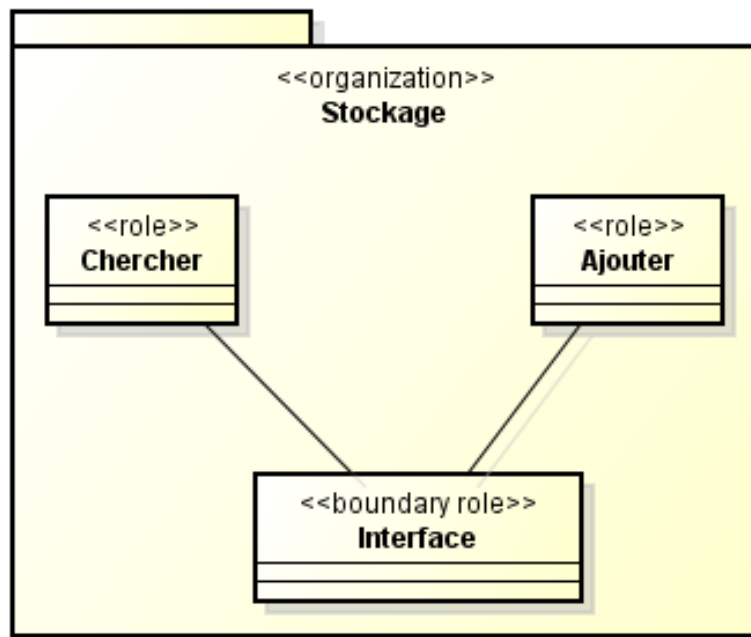


FIGURE 4.16 – Rôle de l'organisation Stockage

4.10/ CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté l'application du processus méthodologique présenté dans le chapitre précédent pour le cas du projet E-care. Cette méthode est l'adaptation de la méthode ASPECS à la télésurveillance médicale. Elle est composée d'un ensemble d'activités qui produisent un modèle organisationnel représentant les

comportements abstraits des agents composant le système ainsi que les connaissances sous-jacentes.

Parmi ces activités, après une activité initiale de définition des buts du système, le processus propose la description de l'ontologie du problème. Dans ce chapitre, nous avons proposé une ontologie du problème générique à la télésurveillance médicale. Par la suite cette ontologie a été réutilisée et spécialisée pour le projet E-care (ontologie du problème spécifique à E-care).

Dans l'activité « description des ontologies de domaine », nous avons construit trois ontologies de domaine :

- Une ontologie de domaine des maladies basée sur la classification de l'OMS CIM-10 ;
- Une ontologie de domaine des médicaments en utilisant la classification ATC recommandée par l'OMS ;
- Une ontologie de domaine des facteurs de risques cardiovasculaires basée sur les connaissances des experts médicaux.

Des liens ont été créés par la suite entre l'ontologie du problème et ces ontologies de domaine.

L'activité « description du système expert » a été utilisée pour définir un système expert dans le projet E-care. Ce système expert est basé sur un moteur d'inférences utilisant des règles spécifiques à l'insuffisance cardiaque. Ces règles ont été définies par les experts médicaux, et extraites de documents spécialisés dans l'insuffisance cardiaque.

La suite des activités a permis l'identification des organisations et de leurs rôles pour définir l'architecture du système et les modules impliqués.

Le chapitre suivant présente l'implémentation du système E-care ainsi que les outils choisis. Il présente également les différentes expérimentations réalisées dans le cadre du projet E-care.

5

IMPLÉMENTATION ET EXPÉRIMENTATION

5.1/ INTRODUCTION

Ce chapitre s'appuie sur les deux chapitres précédents qui présentent, d'une part, notre contribution à une méthodologie pour l'analyse de systèmes de télésurveillance utilisant les SMA, et, d'autre part, l'analyse du système E-care utilisant cette méthodologie. Dans le présent chapitre, nous présentons l'analyse du système E-care en termes organisationnels afin de proposer un déploiement de ce système et des expérimentations.

L'architecture du projet E-care reprend donc les activités présentées dans le chapitre 4 pour définir les ontologies et les organisations ainsi que leurs rôles. Elle définit ainsi trois agents représentant chacun une organisation. Chacun de ces agents doit implémenter les rôles de l'organisation qu'il représente. Cette architecture définit un quatrième agent pour représenter les différents capteurs utilisés.

Dans le cadre du projet E-care, nous avons réalisé deux expérimentations dont la deuxième est toujours en cours. Mais avant de lancer dans expérimentations, nous avons d'abord fait des tests et des simulations du système de manière générale. Nous avons également testé et validé le système expert en collaboration avec les experts médicaux. Pour cela nous avons fait des simulations avec des profils de patients inspirés de cas réels d'insuffisance cardiaque.

La première expérimentation s'est déroulée au sein d'un hôpital où 20 lits ont été attribués à cette phase. Cette phase a duré un an et a permis de valider les capteurs et d'améliorer l'ergonomie des applications. Elle a également permis de valider l'utilisabilité du système E-care dans un milieu hospitalier.

La deuxième expérimentation est en cours et concerne des patients dans leur domicile. Le but de cette phase est de suivre un patient autonome, en mesure de réaliser les relevés de signes vitaux sans faire appel à un soignant. IL est doté d'un module adapté à son profil et à son mode de vie. Cette expérimentation nous permettra de valider la pertinence des alertes remontées depuis le système expert.

La section 2 de ce chapitre présente l'architecture du projet E-care avec ses différents agents. La section 3 présente les différents tests et simulations effectués avant les expérimentations. Et, avant de conclure, la section 4 expose les différentes expérimentations sont exposées.

5.2/ ARCHITECTURE DU PROJET E-CARE

L'architecture du système E-care est composée de 4 agents (Capteur, Passerelle, Serveur et Base de données). L'agent Passerelle, Serveur d'application et Base de données, représentent respectivement les organisations : Collecte et transmission, Traitement et accès et Stockage, définies dans le chapitre 4. L'agent Capteur a été introduit pour représenter les capteurs utilisés. La figure 5.1 représente cette architecture.

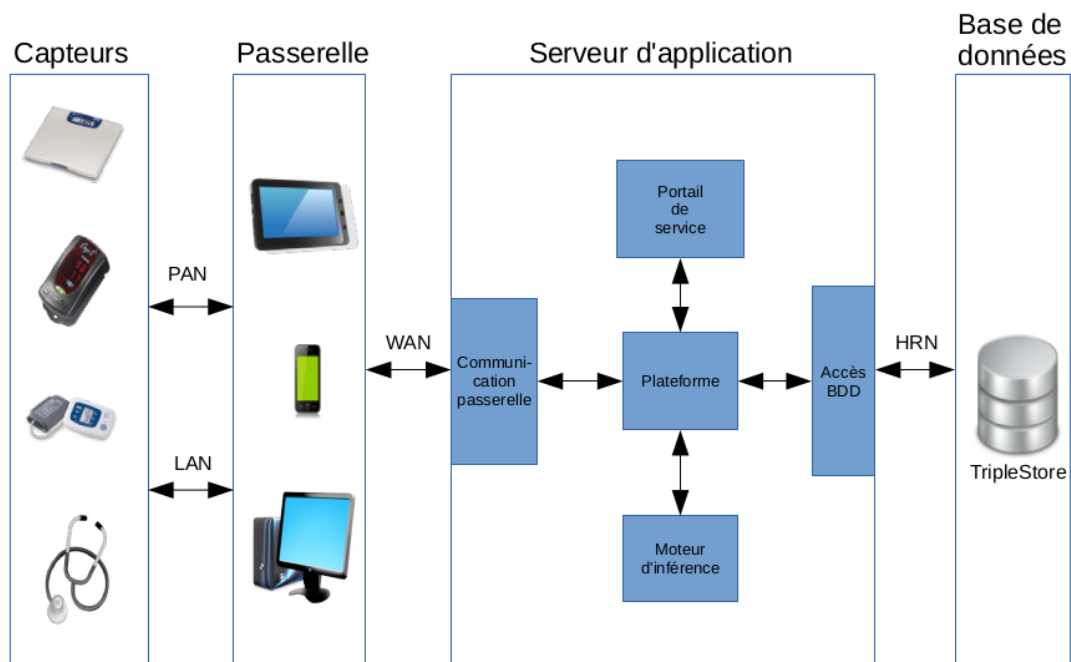


FIGURE 5.1 – Architecture générique

Des études comparatives ont été faites en collaboration avec les experts médicaux, pour définir les capteurs nécessaires pour la télésurveillance de l'insuffisance cardiaque et le type de passerelle utilisée. D'autre part, des études comparatives ont été réalisées entre des outils pouvant être utilisés pour chaque agent (moteur d'inférences, base de données, plateforme, etc.).

Dans le cadre du projet E-care, nous avons choisi d'appliquer les règles promues par Continua et respecter les standards proposés.

Continua est une organisation à but non lucratif. C'est un consortium industriel ouvert fournissant des directives d'interopérabilité et des programmes de certification pour la mise en œuvre des systèmes de télésurveillance personnels.

Continua propose d'utiliser des protocoles d'échange entre les différents agents. L'interface entre les capteurs et la passerelle utilise Bluetooth, Universal Serial Bus

(USB) ou ZigBee. Cette interface utilise un protocole d'échange de données de transport indépendant adapté des standards Personal Health Data (PHD) de l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (IEEE) 11 073. Pour les interfaces entre la passerelle et le serveur, et entre le serveur et la base de données, Continua a opté pour l'initiative de Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) qui est le principal promoteur de normes, tel que Health Level Seven (HL7), pour une utilisation dans le domaine clinique (Continua, 2012).

Dans ce qui suit chaque agent de l'architecture est détaillé selon les spécifications du projet E-care.

5.2.1/ CAPTEURS

Plusieurs capteurs sont utilisés dans le projet E-care : un oxymètre, un thermomètre, un pèse-personne, un tensiomètre et un stéthoscope. Ces capteurs font partie des capteurs PAN (Personal Area Network) définis par Continua (Continua, 2012) et communiquent avec la passerelle en Bluetooth.

Une étude a été réalisée pour choisir les capteurs à partir de plusieurs critères dont le respect de la norme Continua, la communication en Bluetooth, la fiabilité du matériel et la cohérence des mesures prises.

Ces capteurs sont non intrusifs et simples à utiliser par le patient ou le personnel soignant (sauf le stéthoscope qui est utilisé uniquement par le personnel soignant). Les capteurs communiquent de manière transparente avec la passerelle sans intervention humaine.

5.2.2/ PASSERELLE

Pour représenter l'organisation « collecte et transmission », il a été décidé d'utiliser des tablettes tactiles, avec une application ergonomique.

Une étude a été réalisée pour choisir la tablette à utiliser à partir de critères tels que la connectivité et la fiabilité.

Une application Android a été développée pour ces tablettes. Cette application représente les trois rôles de l'organisation « Collecte et transmission ». En effet, cette application s'occupe de la réception des mesures depuis les capteurs, puis les analyse et les transmet au serveur. Elle comporte un système expert capable de détecter les situations dangereuses. Ceci permet de garder une autonomie et une réactivité du module chez le patient en cas de coupure du réseau.

Cette application peut être utilisée en deux modes, un mode « domicile » destiné à un seul

patient, et un mode « service » destiné aux hôpitaux et aux établissements médicalisés (EHPAD, maison de retraite, hôpital, etc.).

Le mode « domicile », utilisé par le patient, lui permet de consulter ses mesures sous forme de graphes, d'avoir des conseils et de communiquer directement avec son médecin.

Le mode « service », utilisé par le personnel soignant, permet l'accès à la liste de patients suivis, leurs données médicales et leurs mesures.

Cette application est composée de modules qui peuvent être activés ou désactivés depuis le portail de service. Par exemple, la visualisation des alertes peut être bloquée dans le mode « domicile », ou bien en mode « service » les infirmiers ne peuvent pas consulter les données médicales des patients.

Dans ce qui suit nous allons présenter quelques vues de cette application.

La figure 5.2 présente la liste des patients en mode « service », le personnel soignant n'a qu'à sélectionner le patient souhaité.



FIGURE 5.2 – Application E-care : Liste des patients

La figure 5.3 présente la vue principale en mode « patient », Nous pouvons également y accéder en mode « service » en sélectionnant un patient. Cette vue présente les dernières mesures prises, et se met en attente de nouvelles mesures. En mode « service » nous pouvons appuyer sur le bouton Terminer pour revenir à la liste des patients.

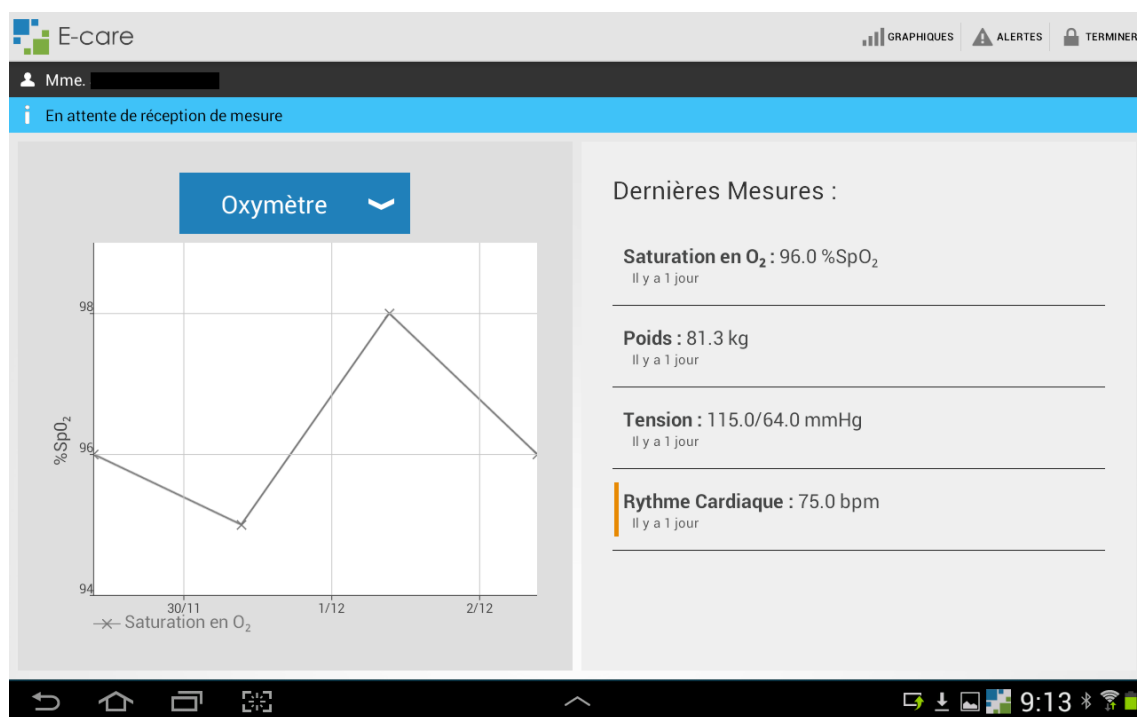


FIGURE 5.3 – Application E-care : Patient sélectionné

A tout moment, l'application peut recevoir une nouvelle mesure. La figure 5.4 présente la vue lors de la réception d'une mesure. Sur cette vue nous pouvons voir la mesure, le capteur, et la variation par rapport à la dernière mesure.

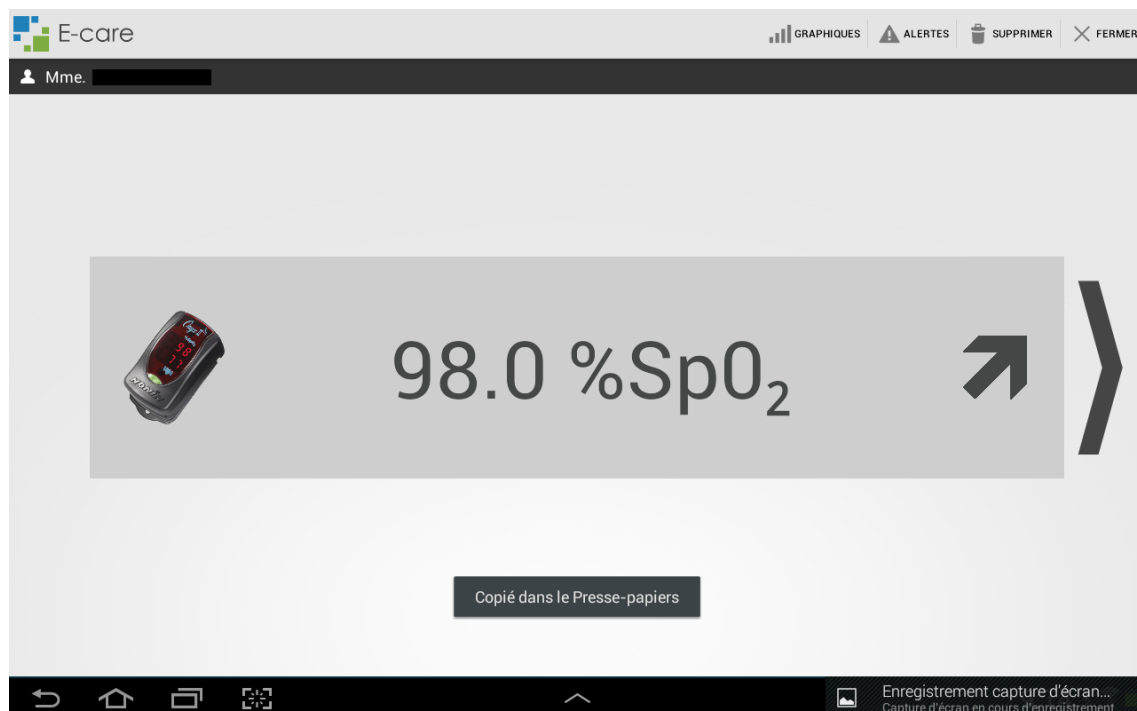


FIGURE 5.4 – Application E-care : réception d'une nouvelle mesure

5.2.3/ SERVEUR D'APPLICATION

Le serveur représente l'organisation « Traitement et accès ». Il est composé de quatre modules dont trois sont des rôles de cette organisation.

5.2.3.1/ RÉCEPTIONS DES DONNÉES DEPUIS LA PASSERELLE

Ce module représente la partie serveur du protocole d'échange avec la passerelle décrit par Continua. Il n'est pas représenté en tant que rôle dans l'organisation « Traitement et accès » vu son apport plutôt technique que fonctionnel pour la télésurveillance médicale.

Il assure la sécurité des transferts grâce à un algorithme de vérification, d'authenticité et d'intégrité des données.

5.2.3.2/ PLATEFORME DE DONNÉES

Ce module représente le rôle « Gestion des données » de l'organisation « Traitement et accès ». Il s'occupe du traitement des données reçues depuis le module de réception et le portail de service. Ces données peuvent être des requêtes ou de nouvelles données à introduire dans la base de données.

Dans le cas de requêtes, la plateforme s'occupe de charger les données depuis la base de données et les envoyer au portail de service ou la passerelle.

Dans le cas d'introduction de nouvelles données, la plateforme vérifie s'il s'agit de données pertinentes relatives à l'état de santé du patient (mesures, informations médicales, etc.). Si tel est le cas, la plateforme fait appel au moteur d'inférences. Dans le cas contraire, les données sont directement introduites dans la base de données selon le bon format.

Il existe plusieurs API qui peuvent être utilisées pour répondre à ces besoins. Une comparaison a été faite entre les API les plus utilisés, à savoir Jena, OWL API, Protégé API et Sesame. Plusieurs critères ont été pris en considération tel que l'orientation OWL ou RDF, la compatibilité avec les moteurs d'inférences, l'interconnexion avec les bases de données, etc.

Notre choix s'est porté sur OWL API. OWL API est orienté OWL et permettant d'intégrer plusieurs moteurs d'inférences et une interconnexion avec différentes bases de données.

5.2.3.3/ MOTEUR D'INFÉRENCES

Ce module représente le rôle « Raisonneur » de l'organisation « Traitement et accès ». Le moteur d'inférences est lancé par la plateforme lors de la réception de données pouvant influencer l'état de santé du patient.

Un moteur d'inférences utilise un algorithme pour produire de nouvelles informations à partir de règles d'inférences.

Plusieurs moteurs d'inférences existent dans la littérature, la première étape a consisté à sélectionner ceux pouvant inférer sur des données sémantiques. Les moteurs d'inférences sélectionnés sont Jena Rule Based¹, Pellet (Sirin et al, 2006) et Jess² (Meditskos et Bassiliades, 2008), (Rattanasawad et al, 2013). Après une comparaison, Pellet a été choisi comme moteur d'inférences. Il fonctionne avec Owl-DL ce qui permet d'utiliser la logique des prédicats. Cela permet une grande expressivité des règles d'inférences. Pour les règles, Pellet supporte le langage SWRL (Bijan Parsia et al, 2005).

5.2.3.4/ PORTAIL DE SERVICE

Ce module représente le rôle « Accès » de l'organisation « Traitement et accès ». Le portail de service et un portail web destiné à donner accès au personnel soignant et aux patients à une liste non exhaustive de services.

Plusieurs profils d'utilisateurs partagent ce portail : les médecins, les infirmiers, les administrateurs médicaux, les administrateurs du système et les patients.

Les médecins ont accès à plusieurs services : la réception et le traitement des alertes, la gestion des données médicales des patients, les mesures des patients, des statistiques ou encore la prise de notes. D'autres outils sont en cours d'études comme la reconnaissance vocale pour la prise de notes.

Les infirmiers ont un accès restreint. Ils peuvent voir uniquement les patients pour lesquels ils sont affectés.

Les administrateurs médicaux s'occupent de la gestion des comptes du personnel soignant et des patients, ainsi que l'affectation du matériel pour un patient ou un établissement donné.

Les administrateurs du système gèrent les paramètres et les préférences du système, ainsi que la gestion du matériel (capteurs, tablettes, etc.).

Les patients ont un accès restreint. Ils ne peuvent consulter que leurs mesures et

1. jena.apache.org/documentation/inference/

2. herzberg.ca.sandia.gov

données médicales sans les modifier.

D'autres outils sont présents et servent à aider les utilisateurs dans leurs tâches journalières comme la vidéoconférence, l'agenda, la reconnaissance vocale et la météo.

Tout le portail est basé sur des rôles et des permissions. Même si le rôle peut avoir accès à un module, nous pouvons le désactiver pour certains utilisateurs. Par exemple, le rôle patient peut consulter les données médicales. Mais il est possible de désactiver cette consultation pour certains patients ou pour tous les patients. Dans tous les cas le patient ne peut pas modifier ses données médicales.

Toute l'ergonomie du portail a été pensée avec les médecins, les infirmiers et les étudiants en médecine dans des réunions et par le biais d'enquêtes de satisfaction.

Dans ce qui suit, nous présentons plusieurs images représentant les interfaces les plus importantes pour le profil médecin.

La figure 5.5 représente l'accès d'un médecin à l'espace d'un patient. Dans la partie centrale, nous retrouvons les dernières alertes et mesures de ce patient. Sur les deux cotés plusieurs outils amovibles dont un qui résume le profil du patients avec des liens rapides, ainsi qu'un outil qui affiche la dernière note médicale qui a été faite pour ce patient. Nous y retrouvons la liste de patients de ce médecin, la vidéoconférence, la météo et le calendrier avec l'agenda.

Dans le menu du haut plusieurs liens sont présents :

- « Accueil médecin » renvoie vers les informations personnelles du médecin ainsi que des données générales de tous ses patients et des statistiques ;
- « Accueil patient » représente la figure 5.5 actuelle ;
- « Mesures » mène vers des graphiques représentant les mesures de ce patient (figure 5.6) ;
- « Alertes » mène vers les alertes détectées pour ce patient et ainsi le médecin peut suivre le traitement des alertes (figure 5.7) ;
- « Informations médicales » (figure 5.8) représente les informations médicales à savoir les antécédents, le traitement suivi, etc.
- « Statistiques » représente des graphiques sur les mesures et les alertes ;
- « Documents » représente les documents du patient comme les rapports scannés et les images.

La figure 6 représente les mesures du patient dans des graphes superposés suite à la demande des médecins. Ces graphes peuvent être affichés ou cachés, et peuvent être organisés selon l'ordre désiré.

Un curseur est utilisé pour parcourir les graphes en même temps. Les mesures

The screenshot displays the E-care patient portal interface. The top navigation bar includes 'E-care', 'ALERTE', 'MESURES', and user information: 'Dernière connexion : 25-11-2014 08:39:38 Emmanuel Andrés'. The main menu lists: 'ACCUEIL MEDECIN', 'ACCUEIL PATIENT', 'MESURES', 'ALERTE', 'INFORMATIONS MEDICALES', 'STATISTIQUES', and 'DOCUMENTS'.

Left Sidebar (Patient Profile):

- Amine** (Profile icon)
- Sexe : Homme
- Age : 26
- N° NIP : 123
- Informations civiles
- Médicaments prescrits
- Carte d'urgence
- Médecins suiveurs
- Notes médicales
- Valeurs de référence
- Protocoles
- Visio-conférence (Etablir une connexion)
- Patients (ex: prénom, nom; Rechercher)

Main Content Area:

Dernières alertes (Exporter)

Niveau	Date	Message	Vief	État	Actions
Critique	12/11/2014 09:53:02	alerte orange pression diastolique de 86.0			
Sévère	30/10/2014 13:59:26	alerte rouge pression diastolique de 86.0 et fréquence cardiaque de 82.0			
Sévère	30/10/2014 13:59:26	alerte rouge pression systolique de 144.0			
Sévère	30/10/2014 13:58:26	alerte rouge fréquence cardiaque de 82.0 et pression diastolique de 103.0			
Sévère	30/10/2014 09:38:14	alerte rouge pression diastolique de 103.0			
Critique	28/10/2014 10:01:21	alerte orange fréquence cardiaque de 78.0			
Critique	24/10/2014 11:23:10	alerte orange pression diastolique de 81.0			
Critique	22/10/2014 15:09:06	alerte orange pression diastolique de 86.0			
Critique	22/10/2014 15:09:06	alerte orange pression systolique de 138.0			
Critique	22/10/2014 15:08:48	alerte orange fréquence cardiaque de 80.0			

Précédent 1 2 Suivant

Dernières Mesures (Exporter)

Date	Type	Valeur	Actions
04/11/2014 09:24:44	Poids	81.9 kg	
04/11/2014 09:17:56	Fréquence cardiaque	60.0 bpm	
03/11/2014 09:24:30	Poids	81.7 kg	
03/11/2014 09:17:07	Fréquence cardiaque	68.0 bpm	
02/11/2014 09:36:55	Saturation	99.0 spO2	
02/11/2014 09:36:41	Saturation	98.0 spO2	
02/11/2014 09:33:34	Pression diastolique	80.0 mmHg	
02/11/2014 09:32:17	Pression systolique	128.0 mmHg	
02/11/2014 09:24:15	Poids	81.7 kg	
02/11/2014 09:16:39	Fréquence cardiaque	73.0 bpm	

Précédent 1 2 Suivant

Right Sidebar:

- Dernière note** (Date : 14/11/2014 18:56:14)
Type action : Consultation
Intervenant : Dr Andés Emmanuel
Description :
- Météo**
Ville : Mulhouse (France)
T° : 8.5°C (6.5°C - 10.5°C)
Description : nuageux
Humidité : 100%
Vitesse du vent : 9.66 km/h
Direction du vent : N
Lévé du soleil : 7:48 am
Couché du soleil : 4:43 pm
- Calendrier**
Nov 2014
Lu Ma Me Je Ve Sa Di
3 4 5 6 7 8 9
10 11 12 13 14 15 16
17 18 19 20 21 22 23
24 25 26 27 28 29 30

FIGURE 5.5 – Portail E-care : Espace d'un patient

sélectionnées sont alors affichées dans l'outil de droite.

La figure 5.7 représente le suivi d'une alerte après sa détection par le moteur d'inférences. Le suivi des alertes utilise un système de ticket. Pour chaque alerte, un ticket est créé. Nous pouvons voir l'état de l'alerte (nouvelle, en cours, traitée), à quel médecin elle est affectée et le suivi des actions réalisées pour cette alerte. Le médecin peut l'affecter à un autre médecin, ou réaliser une action. Lors de la réalisation d'une action, le médecin peut clôturer le ticket.

La figure 5.8 représente les données médicales du patient. Un deuxième menu est affiché qui contient :

- « Antécédents » qui mène vers les antécédents médicaux et chirurgicaux ainsi que les facteurs de risque du patient ;
- « Allergies » représente les allergies médicamenteuses et non médicamenteuses du patient ;
- « Traitements » mène vers les prescriptions faites au patient, ainsi que les médicaments qu'il prenait avant ;
- « Habitudes hygiéno-diététique » représente l'activité physique du patient ainsi que des informations de son alimentation (quantité de sel, type et quantité d'alcool, etc.) ;

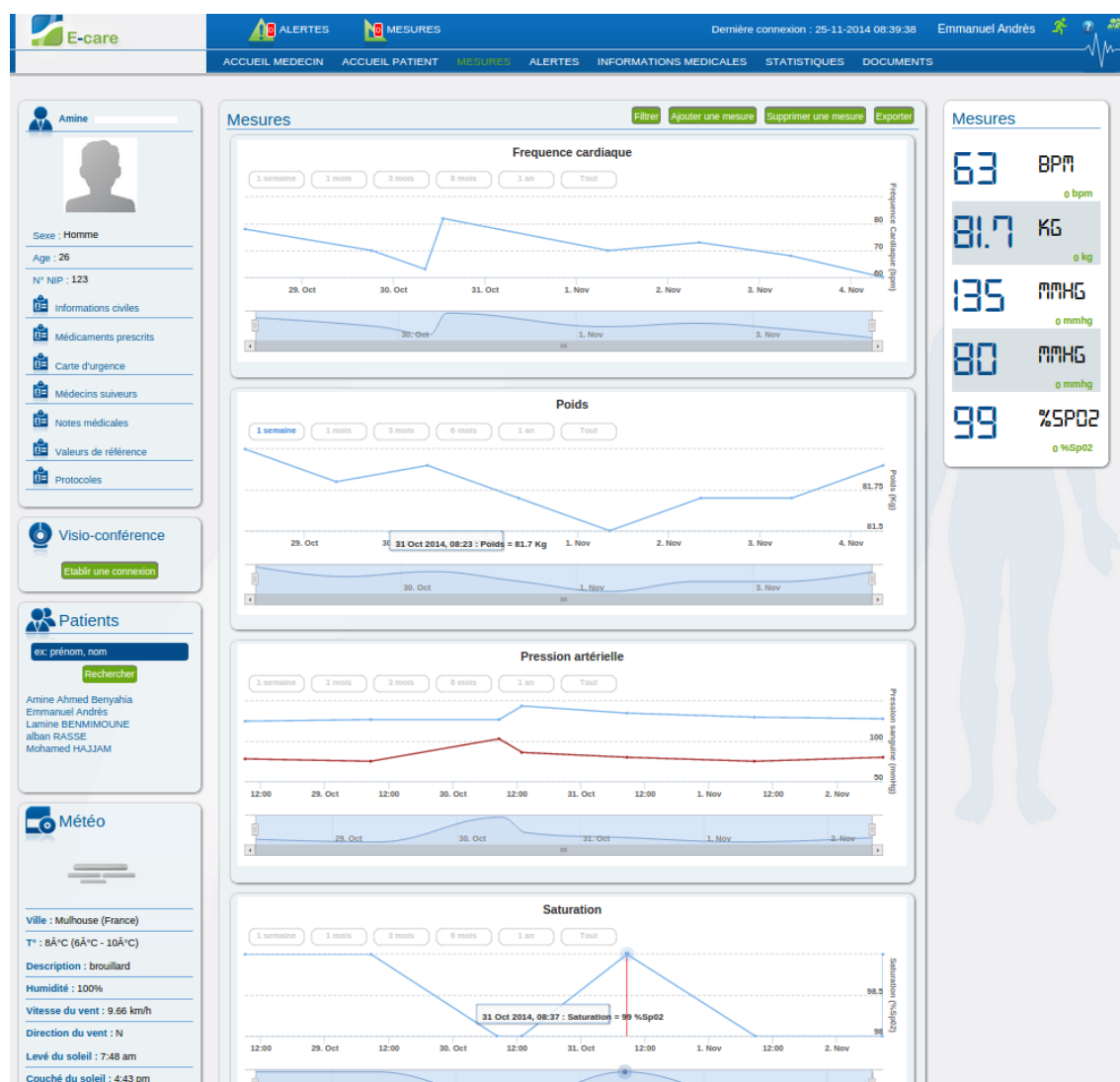


FIGURE 5.6 – Portail E-care : Mesures du patient

- « Médecins suiveurs » mène vers la liste des médecins et infirmiers qui suivent ce patient.

5.2.4/ BASE DE DONNÉES

La base de données représente l'organisation « Stockage » et assure le stockage et la réponse aux requêtes. L'échange se fait via le protocole Continua.

La base de données doit supporter un mécanisme d'anonymisation des données médicales pour préserver la vie privée des patients.

La première contrainte pour la base de données est le stockage de données ontologiques vu que les données manipulées dans le système sont des ontologies. Le format

E-care | ALERTES | MESURES | Dernière connexion : 25-11-2014 08:39:38 | Emmanuel André

ACCUEIL MEDECIN | ACCUEIL PATIENT | MESURES | ALERTES | INFORMATIONS MEDICALES | STATISTIQUES | DOCUMENTS

Alerte numéro 1415782382203920 | Patient : [Nom]

Message : alerte orange pression diastolique de 86.0

Etat : Résolue

Crée le : 12/11/2014

Par : Moteur intelligent

Dernière intervention : 25/11/2014

Intervenant : Dr. Emmanuel André

Mesure(s) concernée(s) :

Informations complémentaires :

- Patient à son domicile
- Pas d'anomalie du rythme cardiaque

Historique actions réalisées

25/11/2014 : 10h03 | Commentaire ajouté par : Dr. Emmanuel André

25/11/2014 : 10h03 | Prise en charge par : Dr. Emmanuel André

12/11/2014 : 9h53 | Ticket créé par : Moteur intelligent

Visio-conférence | [Établir une connexion](#)

Météo

Ville : Mulhouse (France)

T° : 8°C (6°C - 10°C)

Description : nuageux

Humidité : 100%

Vitesse du vent : 9.66 km/h

Direction du vent : N

Levé du soleil : 7:48 am

Couché du soleil : 4:43 pm

FIGURE 5.7 – Portail E-care : Alerte détectée

E-care | ALERTES | MESURES | Dernière connexion : 25-11-2014 08:39:38 | Emmanuel André

ACCUEIL MEDECIN | ACCUEIL PATIENT | MESURES | ALERTES | INFORMATIONS MEDICALES | STATISTIQUES | DOCUMENTS

Historique médical | Exporter

Antécédents | Allergies | Traitements | Habitudes Hygiéno-Diététiques | Médecins suiveurs

Pathologies médicales cardiaques

Ajouter une pathologie cardiaque | Filtrer par période

Type	Date début	Date fin	Actions
Chorée rhumatismale, (sans atteinte cardiaque)	06/11/1986	16/11/1995	[Download] [Print]

Précédent | Suivant

Interventions chirurgicales cardiaques

Ajouter une intervention chirurgicale cardiaque | Filtrer par période

Type	Date	Etablissement	Service	Actions
Présence d'une autre valvule cardiaque de remplacement	13/06/2007	Hopitaux de strasbourg	Cardiologie	[Download] [Print]

Précédent | Suivant

Facteurs de risques cardiovasculaires

Ajouter un facteur de risque | Filtrer par période

L'ajout à été réalisé avec succès

Type	Date début	Date fin	Actions
HTA	16/11/2001	23/07/2009	[Download] [Print]
Tabac	09/11/1982	05/02/2003	[Download] [Print]

Précédent | Suivant

Pathologies médicales non cardiaques

Interventions chirurgicales non cardiaques

Ajouter une intervention chirurgicale non cardiaque | Filtrer par période

Type	Date	Etablissement	Service	Actions
------	------	---------------	---------	---------

Dernière note

Date : 14/11/2014 18:56:14

Type action : Consultation

Intervenant : Dr André Emmanuel

Description :

Calendrier

Nov 2014

Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

FIGURE 5.8 – Portail E-care : Données médicales

ontologique le plus utilisé pour le stockage est RDF sous forme de triplets. Le langage de requête pour RDF est SPARQL. Les bases de données manipulant des données RDF sont appelées TripleStore.

Un tripleStore stocke les données dans des graphes RDF. Il est possible de découper et de stocker une ontologie dans plusieurs graphes sans perte d'information. Nous avons utilisé cette propriété pour la séparation du modèle ontologique des données. Autrement dit, chacune des ontologies de domaine et la structure de l'ontologie du problème est mise dans un graphe. Les données (instances) sont mises dans un autre graphe comme le montre la figure 5.9.

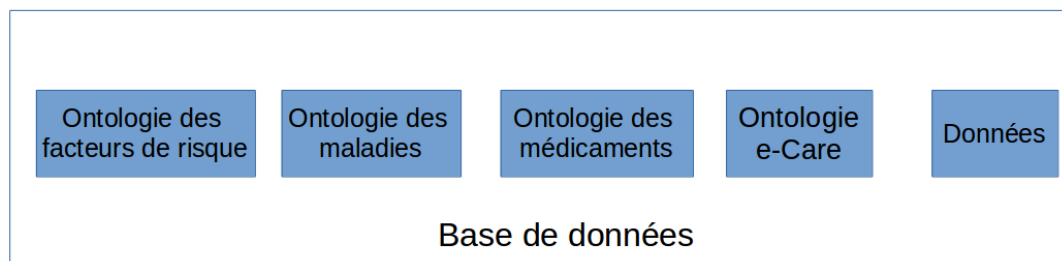


FIGURE 5.9 – Séparation du modèle ontologique des données

Cette séparation facilite la maintenance des ontologies. En effet, pour mettre à jour une ontologie, il est possible d'agir directement sur le graphe.

5.3/ TESTS ET SIMULATIONS DU SYSTÈME

Avant de lancer des expérimentations sur des patients réels, nous avons d'abord fait des tests pour la validation des différents composants du système. Cela nous a permis d'améliorer l'ergonomie des applications (portail web et application mobile), de vérifier la sécurité des protocoles d'échange utilisés ainsi que la robustesse du système expert.

Les tests du portail web et de l'application mobile ont été réalisés au cours de leurs développements. Les experts médicaux, partenaires du projet, étaient impliqués dans les tests en donnant leurs avis en tant qu'utilisateurs finaux.

Le système a été déployé chez les salariés de Newel Informatique. Ces salariés n'étaient pas impliqués dans le développement du projet E-care. A ce titre, ils peuvent être considérés comme des bêta-testeurs du système. Cette partie, nous a permis de consolider le système en détectant plusieurs situations qui peuvent survenir : problème de connectivité, mauvaise prise de mesures, mauvaise manipulation de tablette, etc.

Dans ce qui suit nous décrivons les tests et simulations faits sur le système expert, puis nous présentons une étude d'un cas.

5.3.1/ TEST DU SYSTÈME EXPERT

Le système expert a été testé pour vérifier sa robustesse. Ces tests ont été faits en collaboration avec les experts médicaux.

Nous avons utilisé une méthode de tests composée de quatre étapes :

1. Création des profils ;
2. Analyse des profils ;
3. Simulation dans le système expert ;
4. Comparaison des alertes.

5.3.1.1/ CRÉATION DES PROFILS

Les experts médicaux ont construit une quinzaine de profils de patients. Ces profils sont inspirés de cas réels d'insuffisants cardiaques qui ont été hospitalisés au CHRU de Strasbourg. Ces profils ont été sélectionnés avec un critère de décompensation cardiaque pour vérifier que le système expert les détecte bien.

Cette étape consiste à définir les profils des patients (âge, genre, etc.), leurs antécédents, leur suivi thérapeutique, ainsi que le suivi d'un mois de prise de mesures physiologiques.

5.3.1.2/ ANALYSE DES PROFILS

Après la création des profils des patients, les experts médicaux les ont analysés pour définir les alertes que le système expert doit détecter. Cette étape est fastidieuse, elle a été réalisée manuellement.

5.3.1.3/ SIMULATION DANS LE SYSTÈME EXPERT

Dans cette étape nous avons introduit ces profils à travers le portail de service, et nous avons simulé les modules installés chez le patient pour envoyer les mesures physiologiques. L'introduction d'une information médicale ou la réception d'une mesure implique le déclenchement du moteur d'inférences. Ce dernier détecte des alertes qui vont par la suite être comparées avec celles ressorties dans l'analyse des profils (étape 2).

5.3.1.4/ COMPARAISON DES ALERTES

Dans cette étape, les alertes issues du système expert ont été comparées à celles analysées par les experts médicaux dans l'étape 2. La concordance est parfaite. 100% des alertes détectées par les experts médicaux ont été détectées par le système expert, et vice versa.

Dans la partie suivante, nous allons présenter un de ces profils ainsi que son analyse.

5.3.2/ ETUDE D'UN CAS

Dans cette section nous présentons un profil inspiré de cas réel d'une personne qui a fait une décompensation cardiaque.

5.3.2.1/ PRÉSENTATION DU PROFILE

Il s'agit d'une patiente âgée de 78 ans dont les antécédents médicaux sont :

- Insuffisance cardiaque de stade II sur cardiopathie hypertrophique post-hypertensive à FEVG préservée ;
- Fibrillation auriculaire paroxystique ;
- Hypertension artérielle ;
- Insuffisance rénale chronique sévère ;
- Diabète de type 2 insulino-requérant.

Elle suit le traitement thérapeutique suivant :

- Bisoprolol 2,5 mg/j ;
- Amiodarone 200 mg/j ;
- Perindopril 2mg/j
- Furosémide 250 mg/j ;
- Potassium chlorure 600 mg/j ;
- Fluindione 20 mg/j ;
- Insuline 4 UI/j le soir.

Le suivi des mesures est présenté dans la figure 5.10.

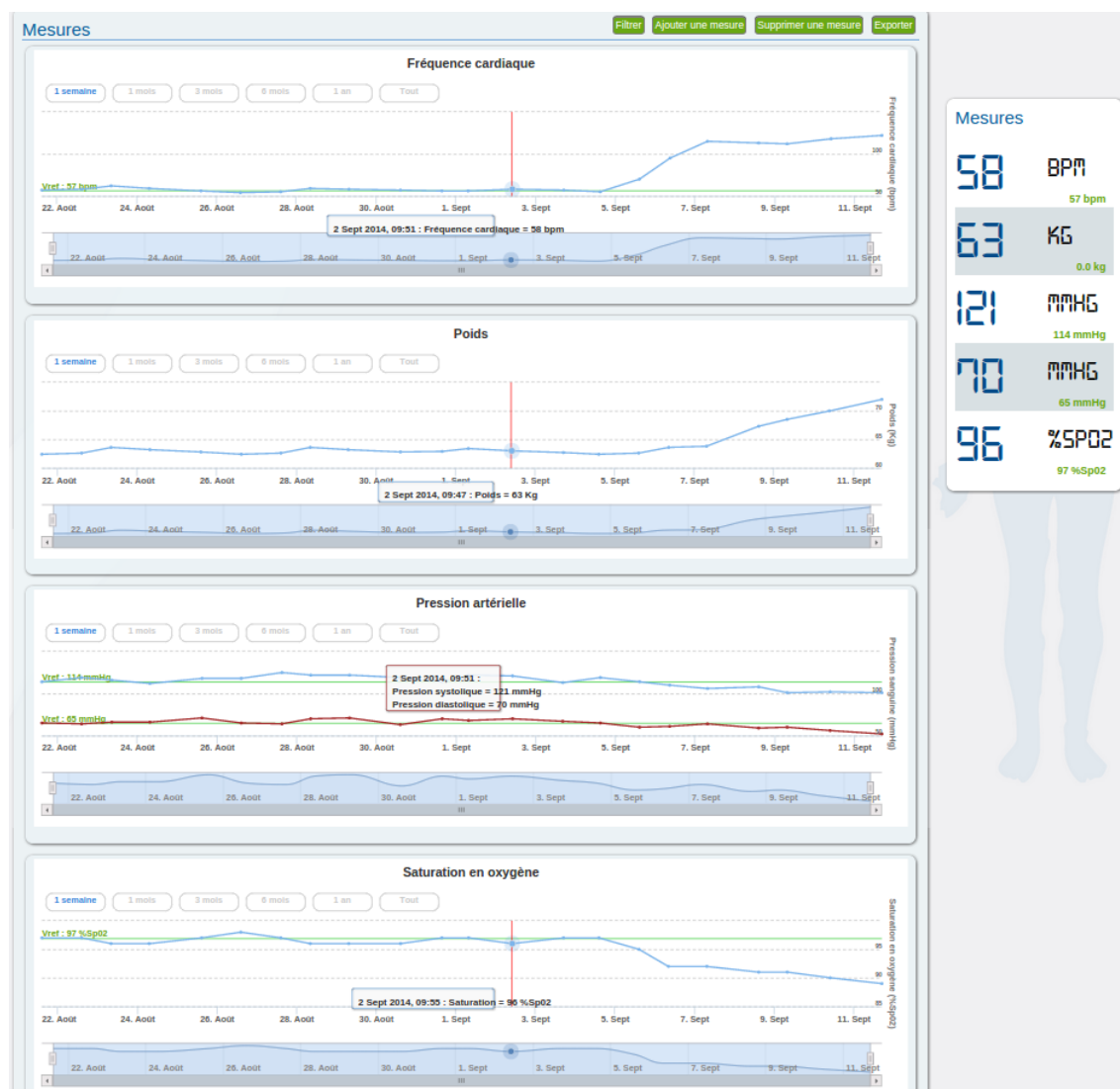


FIGURE 5.10 – mesures physiologique du cas étudié

5.3.2.2/ ANALYSE DU PROFIL

Cette patiente a fait une décompensation cardiaque Le 10 septembre. Les experts médicaux grâce à une étude rétrospective, ont pu détecter des signes avant la décompensation cardiaque. Par la suite nous avons introduit ce profil dans notre système pour voir comment le système expert se comporte.

5.3.2.3/ SIMULATION DANS LE SYSTÈME E-CARE

Dans cette étape, nous avons introduit ce profil dans le portail de service, puis, nous avons simulé la réception des données physiologiques.

Le système expert a détecté des alertes « modérées » 5 jours avant la décompensation.

Ces alertes se sont transformées en « sévères » 4 jours avant la décompensation comme illustrées dans la figure 5.11.

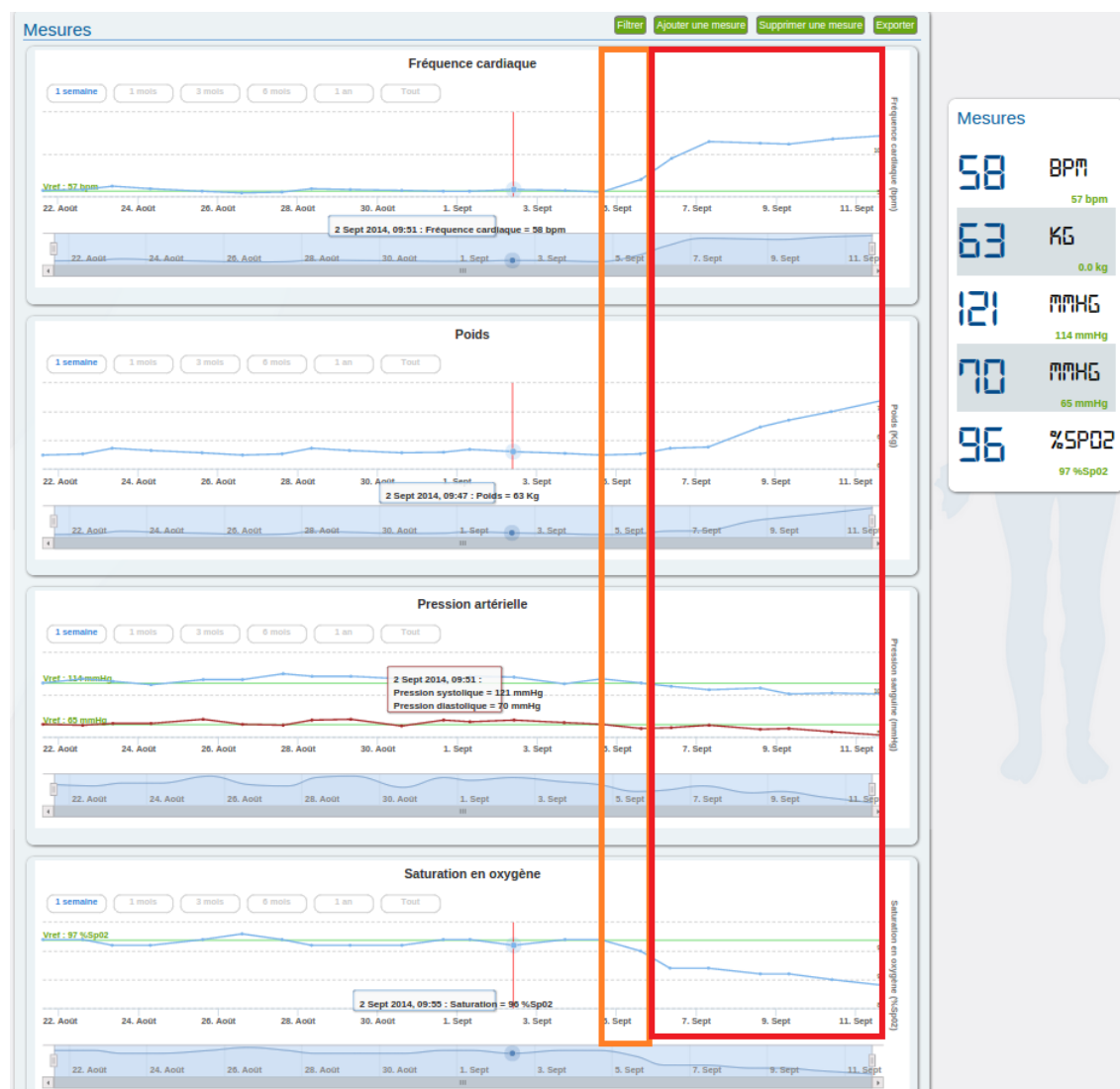


FIGURE 5.11 – alertes détectées par le système expert

5.3.2.4/ ANALYSE

Les alertes générées par le système expert concordent avec l'analyse rétrospective faite par les experts médicaux.

Si cette patiente avait été suivie par le système E-care, ce dernier aurait détecté des signes précurseurs à la complication et sa décompensation aurait pu être évitée.

Après ces tests réalistes qui ont montré l'efficacité du système, nous avons effectué des expérimentations avec de vrais patients.

5.4/ EXPÉRIMENTATION

Dans le cadre du projet E-care, nous avons réalisé plusieurs expérimentations divisées en deux phases. La première phase, comportant deux expérimentations, s'est déroulée au CHRU de Strasbourg durant 13 mois. La deuxième phase est en cours actuellement avec un déploiement aux domiciles des patients.

5.4.1/ PREMIÈRE EXPÉRIMENTATION : UN PROTOTYPE DÉPLOYÉ AU CHRU DE STRASBOURG

L'expérimentation a débuté, dans une première phase au CHRU de Strasbourg en octobre 2013 et a pris fin en novembre 2014. Elle a permis de dresser un premier état de situation, de tester les différentes fonctions, d'améliorer l'ergonomie, de détecter les failles et de repérer les points forts avec l'intention surtout de valider les choix technologiques et médicaux.

Le système E-care a été déployé dans une unité de 20 lits du Service de Médecine Interne, Diabète et Maladies métaboliques de la Clinique Médicale B du CHRU de Strasbourg pendant 13 mois. Cette unité est « ouverte » sur les urgences et fait partie de la filière d'IC qui a été mise en place au CHRU de Strasbourg.

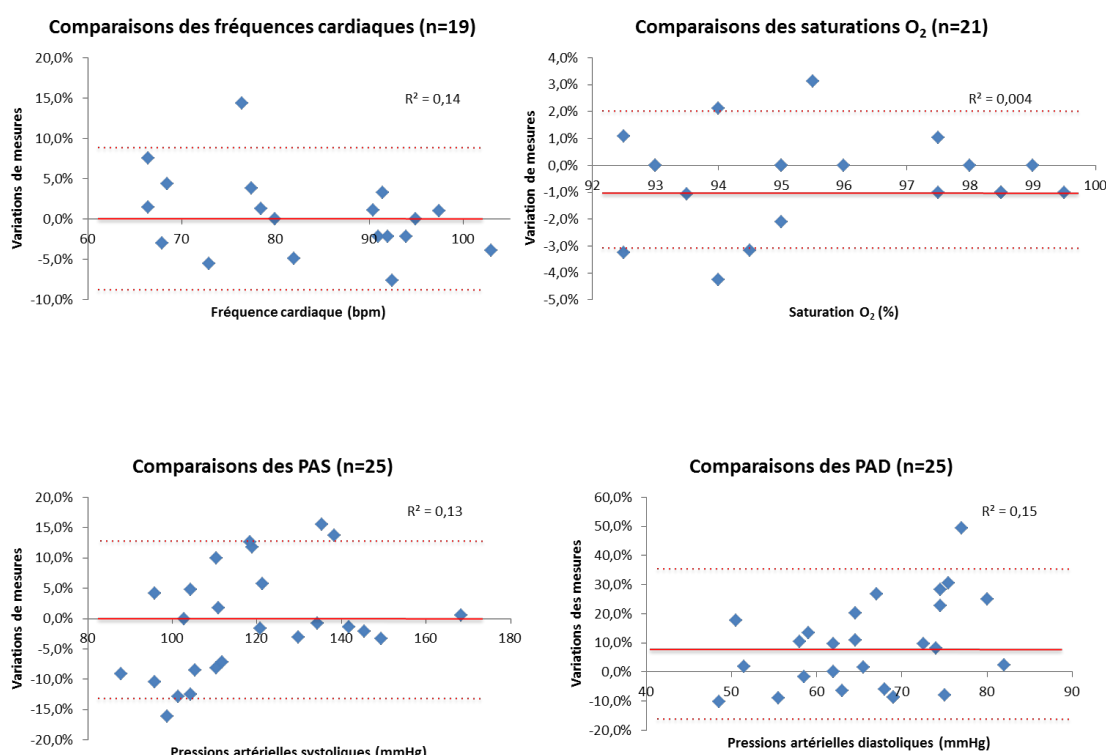
Le profil de patients inclus dans cette expérimentation est un patient âgé, et polypathologique dans plus de 90% des cas (insuffisance cardiaque dans plus de 60%, anémie dans plus de 40%, ACFA dans plus de 30%, DT2 dans plus de 30%, BPCO dans plus de 30%, cancer dans 20%, insuffisance rénale dans plus de 15%, troubles des fonctions supérieures dans 15%, AVC dans 10%), prenant plus de 17 médicaments par jour en moyenne, avec une perte d'autonomie dans 25% des cas.

Dans une première phase d'expérimentation (Octobre-Novembre 2013), nous avons validé les capteurs sélectionnés et déployés dans le cadre d'E-care à l'aide d'un protocole de mesures comparatives concernant les dispositifs hospitaliers habituels de mesure (TA, FC, SaO2, poids) et ceux du système E-care.

Plus de 150 mesures ont été réalisées sur 15 patients par des étudiants hospitaliers de 5ème et 6ème année de la Faculté de Médecine de Strasbourg en stage d'immersion à plein temps dans le Service.

L'analyse rétrospective de ces différentes mesures montre une concordance entre les différents dispositifs utilisés au quotidien à l'hôpital et ceux proposés par la solution E-care (figure 5.12).

Le système fonctionne sans défaillance et cette phase expérimentale a permis la va-



3

FIGURE 5.12 – Comparaison des mesures réalisées par les capteurs de la plateforme E-care avec les capteurs usuels utilisés au CHRU de Strasbourg

validation des choix technologiques. Une enquête qualitative réalisée par le CENTICH³ (Centre d'Expertise National des Technologies de l'Information et de la Communication pour l'autonomie) auprès des étudiants a permis d'évaluer positivement l'ergonomie du système.

Cette étude a concerné deux étudiants qui ont participé à l'expérimentation. Leurs tâches étaient d'introduire les patients dans le portail de service et la prise de mesures quotidiennement. Le taux de satisfaction d'usage est de 74%, ils ont évoqué la facilité d'installation et d'utilisation du dispositif (portail de service et application mobile).

Pour l'évaluation des technologies utilisées, la satisfaction est de 80%. Pour les étudiants, le dispositif améliore le suivi des mesures, et les mesures prises sont en adéquation avec les capteurs de l'hôpital.

Les étudiants ont proposé quelques améliorations dans les interfaces du portail de service et de l'application mobile. Ils ont également relevé quelques lacunes d'organisation. Ces remarques ont été prises en considération et corrigées.

Dans la seconde phase d'expérimentation (février-Novembre 2014) 157 patients ont

3. www.centich.fr

été inclus et plus de 1800 mesures ont été réalisées. Les infirmières ont remplacé les étudiants en médecine pour la prise des mesures. Le but de cette seconde phase, était de valider l'utilisation du système E-care dans un milieu hospitalier ainsi que tous ses composants. Les infirmières utilisaient au quotidien les dispositifs et elles étaient soutenues par une équipe technique en cas de besoin.

L'environnement de cette expérimentation n'est pas adapté pour un système de télésurveillance autonome. Ceci est dû à la courte durée des hospitalisations (4 jours en moyenne) et au suivi actif des patients. Autrement dit, les alertes remontées dans cet environnement, n'ont pas une vraie valeur ajoutée. De ce fait, les experts médicaux ont jugé que l'évaluation de ces alertes n'était pas pertinente. Néanmoins, 308 alertes ont été détectées. Une analyse de ces alertes du point de vue fonctionnelle a validé le bon fonctionnement du système expert.

Les résultats suite au déploiement du système E-care en milieu hospitalier montrent la pertinence des choix technologiques, des outils et des solutions développées et adoptées. Ce système de télémedecine permet de façon automatique et non intrusive, de générer des alertes relative à la détection de situations à risque de décompensation cardiaque, étant in fine susceptible de prévenir le recours à l'hospitalisation.

5.4.2/ DEUXIÈME EXPÉRIMENTATION : EXPÉRIMENTATION À DOMICILE

Une fois le système consolidé, la deuxième phase consiste au déploiement d'E-care auprès de patients à domicile. Cette dernière phase nous permettra de mener une étude approfondie afin de travailler, notamment, sur l'amélioration du diagnostic médical en favorisant l'auto-apprentissage du système et, par conséquent, sur la détection de toute anomalie de manière encore plus précoce.

Une expérimentation à domicile a été lancée Février 2015 et devrait prendre en charge 10 patients durant un an. Nous avons mis en place une équipe technique pour tout problème d'ordre technique. Les médecins du CHRU de Strasbourg s'occupent du suivi de l'état de santé des patients.

Des formations sont organisées pour les patients afin de prendre en main les outils (différents capteurs et tablette). Les médecins ont défini des protocoles de prise de mesures. Par exemple :

- Les mesures doivent être prises le matin à jeun ;
- Le patient doit être en position de repos durant au moins 15 min avant la mesure de la tension artérielle.

Les premières mesures arrivent sans aucun signalement de dysfonctionnement technique.

Quelques alertes ont été remontées, une était pertinente et a conduit à la ré-hospitalisation du patient car il est était en phase de décompensation cardiaque. Le reste des alertes était dû à une mauvaise prise des mesures ou au non suivi du protocole.

Une étude de satisfaction est prévue pour les différents acteurs (patients, médecins, techniciens) concernant le système et l'ergonomie.

5.5/ CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté l'implémentation du système de télésurveillance médicale E-care, les tests et les simulations ainsi que les différentes expérimentations réalisées dans le cadre de ce projet.

L'implémentation suit l'architecture présentée dans le chapitre 4, dans lequel les organisations ainsi que leurs rôles ont été définis. Cette architecture est composée de 4 agents (Capteur, Passerelle, Serveur et Base de données). L'agent Passerelle, Serveur d'application et Base de données représentent respectivement les organisations : Collecte et transmission, Traitement et accès et Stockage, définies dans le chapitre 4. L'agent Capteur a été introduit pour représenter les capteurs utilisés.

Avant de lancer des expérimentations, des tests et des simulations ont été réalisés dans le cadre du projet E-care. Nous avons défini en collaboration avec les experts médicaux, des plans de tests ainsi que des données de simulation inspirées de cas réels. Cela nous a permis de valider notre système de manière générale.

A l'issue des tests et des simulations, deux expérimentations ont été réalisées dont la deuxième est toujours en cours. La première phase s'est déroulée au CHRU de Strasbourg, et la deuxième au domicile du patient.

La première expérimentation visait à tester les capteurs utilisés ainsi que l'ergonomie des applications développées. Le résultat de cette expérimentation valide l'utilisation du système E-care dans un milieu hospitalier

La deuxième expérimentation se déroule au domicile du patient. Une équipe technique et une équipe médicale assurent le suivi technique et médical. Les premiers patients ont été équipés avec la plateforme E-care. Jusqu'à présent, aucun dysfonctionnement n'a été signalé.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

6.1/ CONCLUSION GÉNÉRALE

Nous avons abordé tout au long de cette thèse la problématique de la construction d'un système de télésurveillance médicale.

Le but de tout système de télésurveillance médicale est le suivi des patients et, fréquemment, la détection des situations à risques. Un système de télésurveillance médicale utilise une architecture distribuée avec un module chez le patient qui récolte et transmet des données, et une partie centralisée qui permet :

- le traitement de ces données ;
- l'accès, notamment au personnel soignant, aux données des individus suivis.

Cette thèse rentre dans le cadre du projet E-care. E-care est un projet de télésurveillance médicale destiné au suivi de patients atteints d'insuffisance cardiaque. L'objectif était double. Premièrement, il était question de définir une méthodologie générique pour la construction d'un tel système. Cette méthodologie utilise les technologies du web sémantique pour la représentation des connaissances, et les technologies de l'intelligence artificielle pour la détection automatique de situations dangereuses. Deuxièmement, cette méthodologie devait être appliquée au projet E-care et résulter en un système spécifique répondant aux besoins particuliers du projet.

Dans le chapitre deux, nous avons présenté un état de l'art sur les ontologies, les systèmes multi-agents ainsi que les systèmes de télésurveillance médicale. Ceci nous a permis de mieux définir notre problématique.

Particulièrement, nous avons défini les concepts sous-jacents aux ontologies, leurs apports, et les différentes méthodes pour les construire. Nous avons également présenté les différentes sources médicales qui peuvent être exploitées, à savoir des classifications, des thésaurus, etc. Nous avons également présenté plusieurs études existantes dans la littérature qui ont construit des ontologies médicales.

Nous avons présenté par la suite des définitions et des généralités sur les systèmes multi-agents. Les systèmes multi-agents ont prouvé leur utilité dans la gestion des systèmes complexes, apportant une autonomie et une intelligence à chaque agent. Ceci s'adapte parfaitement aux systèmes de télésurveillance médicale vu la distribution de l'architecture et l'autonomie voulue dans les modules installés chez le patient.

Dans ce chapitre nous avons présenté également des systèmes de télésurveillance médicale présents dans la littérature. Une analyse de ces systèmes nous a aidé par la suite à définir une méthodologie générique.

Le chapitre trois présente notre méthodologie pour la construction d'un système de

télesurveillance médicale. Cette méthodologie est générique, elle est basée sur la méthodologie ASPECS. Cette méthodologie orientée SMA est basée sur plusieurs activités allant de la description du domaine à la définition des organisations, leurs rôles ainsi que les scénarios (pour la phase d'analyse).

Dans notre méthodologie, nous avons d'abord raffiné l'activité de description de l'ontologie du problème déjà présente dans ASPECS en définissant un processus itératif pour la définition d'une telle ontologie. Nous avons rajouté quatre activités non existantes dans ASPECS qui sont :

- La définition des concepts de l'ontologie du problème qui peuvent être représentés par des ontologies de domaine ;
- La description d'ontologies de domaine,
- La création des liens entre l'ontologie du problème et les ontologies de domaine ;
- La description d'un système expert.

Les ontologies de domaine apportent une sémantique au système et facilitent la collaboration et le partage d'information. Dans l'activité de description des ontologies de domaine, nous avons proposé une méthodologie de construction utilisant un processus itératif. Ce processus est différent du processus de construction de l'ontologie du problème. Ceci est dû aux natures de ces deux types d'ontologies (ontologie d'application, ontologie de domaine).

Le système expert vise à détecter automatiquement les situations dangereuses. Il est basé sur un moteur d'inférences, une base de faits représentés par les ontologies (problème et domaine) et une base de règles contenant un ensemble de règles d'inférences. Ces dernières suivent la description de l'ontologie du problème.

Le chapitre quatre présente l'application de cette méthodologie pour la construction d'un système de télesurveillance pour le projet e-Care. Dans un premier temps une ontologie du problème générique a été définie. Elle peut être réutilisée dans d'autre système de télesurveillance médicale. Par la suite, cette ontologie a été spécifiée pour le projet E-care en détaillant chacun des concepts de l'ontologie générique.

L'activité suivante est la construction des ontologies de domaine. Dans le cadre du projet E-care, trois ontologies de domaine ont été construites suivant la méthodologie présentée dans le chapitre trois. La première ontologie concerne les maladies et utilise la classification CIM10 de l'OMS. La deuxième ontologie représente les médicaments et elle a été construite en utilisant la ATC recommandé par l'OMS. La troisième ontologie représente les facteurs de risques cardiovasculaires et pour sa construction nous nous sommes basés sur les connaissances des experts médicaux.

Des liens ont ensuite été créés entre l'ontologie du problème et les ontologies de domaine.

Nous avons décrit, dans l'activité suivante, un système expert pour la détection des situations à risque. Des règles d'inférences ont été définies en collaboration avec les experts médicaux. Ces règles prennent en compte les mesures physiologiques du patient, son profil ainsi que ses antécédents et ses médicaments. D'autres règles ont été extraites de documents spécialisés dans la cardiologie. Ces règles ont été validées par les experts médicaux.

Le chapitre cinq présente l'architecture implémentée dans le projet E-care ainsi que les outils utilisés. Ce chapitre présente également les tests et les simulations effectués pour valider le système.

L'architecture est composée de quatre types d'agents autonomes et réactifs qui sont :

- Les capteurs : ces agents assurent la prise de mesures de manière non intrusive. Plusieurs capteurs ont été utilisés, à savoir : un oxymètre, un tensiomètre, un pèse-personne, un thermomètre et un stéthoscope ;
- Une passerelle : cet agent est représenté par une tablette tactile utilisant une application qui sert à collecter les mesures, à vérifier leur cohérence et à les transmettre au serveur. Elle contient également un premier système expert pour la détection des situations les plus graves. Ceci permet d'avoir une autonomie et une réactivité du module installé chez le patient. Elle le lui garantit un premier niveau d'alerte ;
- Le serveur : cet agent permet la détection des situations à risque en utilisant un deuxième système expert. Il permet également de donner au personnel soignant un accès aux données de leurs patients ainsi que les alertes détectées par le système expert ;
- Base de données : Cet agent stocke les données des patients et les différentes ontologies. Il se charge aussi de répondre aux requêtes reçues.

Les tests et les simulations ont été effectués en collaborations avec les experts médicaux. Des profils de patients ont été constitués à partir de cas réels d'insuffisance cardiaque. Lors de l'introduction de ces profils dans le système E-care, le système expert a généré des alertes confirmées à 100%. Ceci nous a permis de valider dans un premier temps le système expert avant de nous lancer dans des expérimentations.

Les expérimentations se sont déroulées en deux phases, la première au service de médecine interne au CHRU de Strasbourg, et la deuxième aux domiciles des patients.

La première phase a permis de démontrer l'utilisabilité de la plateforme E-care dans un milieu hospitalier. Elle a également permis de valider les différents capteurs utilisés et

d'améliorer l'ergonomie des applications développées.

La deuxième phase, aux domiciles des patients, est en cours. Une équipe médicale et une équipe technique suivent le déroulement de cette expérimentation. Pour l'instant, aucun dysfonctionnement n'a été détecté.

6.2/ *PERPECTIVES*

A la fin de la deuxième phase de l'expérimentation (à domicile), une enquête de satisfaction sera faite pour avoir les avis des patients et les différents acteurs impliqués. Ceci nous permettra d'améliorer l'ergonomie du système.

Les données et les alertes seront analysées par les experts médicaux pour vérifier la pertinence du système expert et éventuellement adapter les règles d'inférences. Nous prévoyons d'utiliser la plateforme e-Care également en moyen séjour, en suite de soins, en soins de longue durée et en maison de retraite. Nous adapterons le système pour répondre aux besoins de chaque type d'habitat.

Avec les experts médicaux, nous avons construit des règles d'inférences permettant la détection de situations dangereuses. Ces règles ne prennent pas en compte toutes les informations concernant le patient. Par exemple, nous avons défini des règles qui prennent en compte des médicaments, mais pas tous les médicaments, et de même pour les antécédents. Une des améliorations qu'on peut envisager, c'est de trouver un moyen pour définir de nouvelles règles. Une des pistes envisagée, est d'utiliser le domaine de la fouille de données et plus précisément l'extraction de règles d'association.

Les règles d'association représentent une approche automatique de fouille de données pour découvrir des relations ou corrélations entre des données. Un exemple classique de l'utilité de cette approche est le panier de la ménagère qui décrit un ensemble d'achats effectués au supermarché, les règles d'association permettent de découvrir des régularités dans l'ensemble des transactions comme par exemple : quels produits tendent à être achetés ensemble.

Les techniques de fouille de données, utilisées dans le processus de production de nouvelles règles d'inférences, seront basées sur la recherche de motifs caractérisant les symptômes dès leur première manifestation en utilisant les règles d'association. Cette caractérisation, qui prend en compte l'évolution de l'ensemble des paramètres vitaux associés au contrôle adapté de l'hygiène de vie, nous permettra de formaliser la détection très précoce des situations à risque de décompensation cardiaque et de garantir ainsi la mise en route précoce de traitements adaptés. L'utilisation d'un tel mécanisme nécessite

une masse de données importante, dans le projet E-care, cette masse de données continue à évoluer grâce aux données des expérimentations.

Les règles d'inférences ont été écrites en langage SWRL non maîtrisé par les experts médicaux. Nous avons développé des interfaces graphiques pour ajuster des seuils génériques et personnalisés à chaque patient. Pour l'instant, ces interfaces graphiques ne concernent que les seuils des mesures physiologiques, le reste des règles doit se faire directement en SWRL. L'une de nos perspectives est d'améliorer et d'ajouter de nouvelles interfaces graphiques pour prendre en compte les autres clauses des règles comme les médicaments et les antécédents médicaux des patients.

BIBLIOGRAPHIE

- (Bachelot-Narquin, 2010) Roselyne Bachelot-Narquin, (2010). La télémédecine et la réforme de l'hôpital en France. Le défi de la télémédecine en Europe . Les dossier européens Juin-Juillet 2010 -numéro 20. Roselyne Bachelot-Narquin, Ministre français de la Santé et des Sports
- (Bachimont, 2000) B.Bachimont (2000). Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologies en ingénierie des connaissances. In Z. M. Charlet J., Kassel G., Bourgault D., (Ed.), Ingénierie des connaissances. Évolution Récentes et nouveaux défis Paris : Eyrolles, 305-323.
- (Bachimont et al, 2002) B.Bachimont, A.Isaac, R.Troncy (2002). Semantic commitment for designing ontologies : A proposal. In A. GOMEZ -PÉREZ and V. B ENJAMINS , Co-ordinateurs, 13th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW), volume LNAI 2473 of Lecture Notes in Artificial Intelligence, p. 114–121 : Springer.
- (Baneyx et al, 2005) Audrey Baneyx, Jean Charlet, Marie-Christine Jaulent. Construction d'ontologies médicales fondée sur l'extraction terminologique à partir de textes : application au domaine de la pneumologie. Actes des 11èmes Journées Francophones d'Informatique Médicale (2005). Lille, France, 12-13 Mai 2005.
- (Bonfini et Parker, 2010) Jeremy Bonfini et Chuck Parker 2010. La télésanté : des visites à domicile. L'e-Santé s'exporte vers de nouveaux marchés. Le défi de la télémédecine en Europe . Les dossier européens Juin-Juillet 2010 -numéro 20. Jeremy Bonfini, Premier Vice-Président des Services mondiaux d'HIMSS et Chuck Parker, Directeur Exécutif de Continua Health Alliance.
- (Bratman, 1987) M.Bratman, (1987), "Intention, plans, and practical reason". Harvard University Press.
- (Burgun et al, 2011) A. Burgun, A.Rosier, L.Temal, J.Jacques, R.Messai, L.Duchemin, L.Deleger, C.Grouin, P.Van Hille, P.Zweigenbaum, R.Beuscart, D.Delerue, O.Dameron, P.Mabo. Aide à la décision en télécardiologie par une approche basée ontologie et centrée patient. Technologies pour la santé et l'autonomie », volume 32/2 avril 2011.

- (Charlet et al, 1996) J.Charlet, B.Bachimont, J.Bouaud, P.Zweigenbaum (1996). Ontologie et réutilisabilité : expérience et discussion. In N. Aussenac-Gilles, P. Laublet et C. Reynaud, Coordinateurs, Acquisition et ingénierie des connaissances : tendances actuelles, chapitre 4, p. 69–87. Cepaduès-éditions.
- (Charlet et al, 2012) Jean Charlet, Gunnar Declerck, Ferdinand Dhombres, Pierre Gayet, Patrick Miroux, Pierre-Yves Vandenbussche. Construire une ontologie médicale pour la recherche d'information : problématiques terminologiques et de modélisation. 23es journées francophones d'Ingénierie des connaissances, Jun 2012, Paris, France. pp.33-48, IC 2012
- (Chatzimarkakis, 2010) Jorgo Chatzimarkakis 2010. L'e-Santé s'exporte vers de nouveaux marchés. Le défi de la télémédecine en Europe . Les dossier européens Juin-Juillet 2010 - numéro 20. Marina Geli, Ministre catalane de la Santé . Jorgo Chatzimarkakis, Membre du Parlement Européen.
- (College of American Pathologists, 1993). Systematized Nomenclature of Human and Veterinary Medicine : SNOMED International. College of American Pathologists. 1993.
- (Continua, 2012) Continua Health Alliance 2012. Continua design guidelines. Version 2012+Errata. 5 Novembre 2012.
- (Cossentino et al, 2014) Massimo COSENTINO, Vincent HILAIRE, Ambra MOLESINI, and Valeria SEIDITA. Handbook on Agent-Oriented Design Processes. Springer, 2014. ISBN : 978-3-642-39974-9.
- (Cossentino et al, 2010) M.Cossentino, N.Gaud, V.Hilaire, S.Galland, A.Koukam, 2010. ASPECS : an agent-oriented software process for engineering complex systems. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 20, pages 260–304.
- (Dhombres et al, 2010) Ferdinand Dhombres, Jean-Marie Jouannic, Marie-Christine Jaulent, Jean Charlet. Choix méthodologiques pour la construction d'une ontologie de domaine en médecine périnatale. 21èmes Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances, Nîmes, France, Juin 2010. pages : 171-182.
- (Dolin et al, 2001) R.Dolin, K.Spackman, A.Abilla, C.Correia, B.Gold-Berg, D.Konicek, J.Lukoff, C.Lundberg (2001). The SNOMED-RT procedure model. In Proc AMIA Symp, p. 139–143.
- (Ferber, 2005) Ferber, J. : Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective. Inter-Editions, Paris, 1995.
- (Ferber, 2006) Ferber, J. : Introduction aux concepts et méthodologies de conception multi-

- agents. In : Amblard F. Phan D. eds.(2006) Modélisation et simulation multi-agents pour les Sciences de l'Homme et de la Société : une introduction, Londres, Hermes-Sciences, 414 p. ISBN : 2-7462-1310-9. chapitre 1, p.11-36, 2006.
- (Fernandez-Lopez et al, 1997) Fernandez-Lopez M., Gómez-Perez A. et Juristo N. (1997). Methontology : From Ontological Art Toward Ontological Engineering. Paper presented at the Spring Symposium Series on Ontological Engineering. AAAI97, Stanford, USA.
- (FIPA ACL, 2002). FIPA ACL Message Structure Specification (Standard No. SC00037J), Foundation For intelligent Physical Agents. 2002.
- (Fleury et al, 2010) Anthony Fleury, Michel Vacher, Norbert Noury. 2010. SVM-Based Multi-Modal Classification of Activities of Daily Living in Health Smart Homes : Sensors, Algorithms and First Experimental Results. IEEE TRANSACTION ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE. 274-283.
- (Franco et al, 2010a) C. Franco, J. Demongeot, C. Villemazet , N. Vuillerme. 2010. Behavioral telemonitoring of the elderly at home : Detection of nycthemeral rhythms drifts from location data. 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 759-766.
- (Franco et al, 2010b) C. Franco, J. Demongeot, Y. Fouquet, C. Villemazet, N. Vuillerme. 2010. Perspectives in home TeleHealthCare system : Daily routine nycthemeral rhythm monitoring from location data. International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems. 611-617.
- (Fugini et al, 2012) MariaGrazia Fugini, Stefano Pinardi, Claudia Raibulet. Smart Solutions for Risk Prevention through Analysis of People Movements. Grid and Pervasive Computing Workshops 2011, LNCS 7096, pp. 3–13, 2012. Print ISBN : 978-3-642-27915-7. Online ISBN : 978-3-642-27916-4
- (Gavrilova et al, 2011) T.A.Gavrilova, R.A.Ravodin, E.S.Bolotnikova. Development of Dermatovenereology Ontology for Education and Expert Support. 2011
- (Gavrilova et al, 2012) T.A.Gavrilova, E.S.Bolotnikova. Development of dermatovenereology ontology. In Proceedings of Distributed Intelligent Systems and Technologies Workshop (Shkodyrev V Eds.), pp 69–72, St. Petersburg, SPbGTU, Russia. 2012.
- (Gomez-Perez et al, 96) A.Gómez-Pérez, M.Ferandez, A.De Vicente (1996). Towards a method to conceptualize domain ontologies. In Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence (ECAI), p.ages : 41–52.
- (Gomez-Perez, 1999) A.Gómez-Pérez (1999). Ontological Engineering : A state of the art.

Expert Update, 2(3), 33-43.

(Gruber, 1993) T.Gruber (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition, 5(2), 199–220.

(Gruber, 2008) T.Gruber (2008). Ontology. Entry in the Encyclopedia of Database Systems, Ling Liu and M. Tamer Özsu (Eds.), Springer-Verlag, to appear in 2008.

(Guarino, 1997) Guarino N. (1997b). Understanding, building and using ontologies. International J. Human-Computer Studies, 46, 293-310.

(Hadidi et al, 2009) Tareq Hadidi, Norbert Noury. 2009. A Predictive Analysis of the Night-Day Activities Level of Older Patient in a Health Smart Home. Ambient Assistive Health and Wellness Management in the Heart of the City. 290-293

(HAS, 2014) Haute Autorité de Santé. Insuffisance cardiaque. Guide de parcours de soins, Juin 2014.

(Isern et al, 2011) D. Isern, D. Sanchez, and A. Moreno. Organizational structures supported by agent-oriented methodologies. J. Syst. Softw., 84 :169–184, February 2011.

(Jarras, 2002) I.Jarras, B.Chaib-draa, (2002), « Aperçu sur les systèmes multiagents ». Série scientifique. Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations. Montréal, Canada.

(Jessup et Brozena, 2003) M.Jessup, S.Brozena S. Heart failure. N Engl J Med. 2003 ;348 :2007-18.

(koestler, 1967) Arthur Koestler, The Ghost in the Machine (London : Hutchinson, 1967).

(Kroes, 2010) Neelie Kroes 2010. Télémédecine et Infrastructures en Europe. Le défi de la télémédecine en Europe . Les dossier européens Juin-Juillet 2010 - numéro 20. Neelie Kroes, Vice-Président de la CE et Commissaire responsable de l'Agenda numérique pour l'Europe

(Lasbordes, 2009) Pierre Lasbordes (2009). La telesante : un nouvel atout au service de notre bien-être : Un plan quinquennal éco-responsable pour le déploiement de la télésanté en France. La télésanté : un nouvel atout au service de notre bien-être – 15 octobre 2009. Rapport remis à Madame Roselyne Bachelot-Narquin, Ministre de la Santé et des Sports par Monsieur Pierre Lasbordes, Député de l'Essonne.

(Lasbordes, 2010) Pierre Lasbordes, 2010. L'évolution de la télésanté . Le défi de la télémédecine en Europe . Les dossier européens Juin-Juillet 2010 - numéro 20. Pierre Lasbordes, Député de l'Essonne à l'Assemblée Nationale (France)

- (Lasierra et al, 2013) N. Lasierra, A. Alesanco, J. García, Designing an architecture for monitoring patients at home : ontologies and web services for clinical and technical management integration. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics 2014. Publié en Septembre 2013. ISSN : 2168-2194.
- (Leurent et Schroeder, 2013) Pierre Leurent, Jean-Bernard Schroeder 2013. télémédecine 2020 : Modèles économiques pour le télésuivi des maladies chroniques. Livre blanc 2013.
- (Lindberg et al, 1990) D.A.B.Lindberg, B.L.Humphreys (1990). The UMLS knowledge sources : tools for building better user interfaces. In Proceedings of the 14 th Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care, p. 121–125.
- (Maedche, 2002) A. Maedche. 2002. Ontology Learning for the Semantic Web. Boston : Kluwer Academic Publishers.
- (McMurray et al, 2012) John J. V. McMurray, Stamatis Adamopoulos, Stefan D. Anker, Angelo Auricchio, Michael Bohm, Kenneth Dickstein, Volkmar Falk, Gerasimos Filippatos, candida Fonseca, Miguel Angel Gomez Sanchez, Tiny Jaarsma, Lars Køber, Gregory Y. H. Lip, Aldo Pietro Maggioni, Alexander Parkhomenko, Burkert M. Pieske, Bogdan A. Popescu, Per K. Rønnevik, Frans H. Rutten, Juerg Schwitter, Petar Seferovic, Janina Stepinska, Pedro T. Trindade, Adriaan A. Voors, Faiez Zannad, Andreas Zeiher (2012). ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2012 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association (HFA) of the ESC.European Heart Journal Advance Access published May 19, 2012. doi :10.1093/eurheartj/ehs104.
- (Meditkos et Bassiliades, 2008) Georgios Meditskos and Nick Bassiliades. Combining a DL Reasoner and a Rule Engine for Improving Entailment-based OWL Reasoning. The Semantic Web - ISWC 2008. Volume 5318, 2008, pp 277-292.
- (Mille, 2003) Frédéric Mille. Utilisation dans les systèmes d'aide à la prescription de l'information fonctionnelle présente dans les RCP : étude morpho-syntaxique et construction d'une ontologie de la fonction cardiaque. Sous la direction de : Pr A. VENOT Avec le co-encadrement de : C. DUCLOS et J. NOBECOURT. Laboratoire d'Informatique Médicale et de Bioinformatique (LIM&BIO), UFR Santé Médecine et Biologie Humaine (SMBH)- Université Paris 13. Soutenu le 03 juillet 2003.
- (Minutolo et al, 2010) Aniello Minutolo, Giovanna Sannino, Massimo Esposito, Giuseppe De Pietro. 2010. A rule-based mHealth system for cardiac monitoring. 2010 IEEE EMBS

Conference on Biomedical Engineering and Sciences.

- (Mizoguchi et al, 2000) R. Mizoguchi, K. Kozaki, T. Sano et Y. Kitamura. 2000. Construction and Deployment of a Plant Ontology. The 12th International Conference, EKAW2000, 113-128.
- (Mosolo et al, 2003) Claudio Masolo, Stefano Borgo, Aldo Gangemi, Nicola Guarino, Alessandro Oltramari, Luc Schneider. The WonderWeb Library of Foundational Ontologies Preliminary Report . 29-05-2003.
- (Noury et al, 2005) N.Noury, et al (équipe du projet AILISA). AILISA plateformes d'évaluations pour des technologies de télésurveillance médicale et d'assistance en gériatrie. Journal Gériatrie et Société 2005/2 (NO 113).
- (NYHA, 1994) The Criteria Committee of the New York Heart Association. (1994). Nomenclature and Criteria for Diagnosis of Diseases of the Heart and Great Vessels. (9th ed.). Boston : Little, Brown and Co. pp. 253–256.
- (Paganelli et al, 2011) Federica Paganelli, Dino Giuli. 2011. An Ontology-Based System for Context-Aware and Configurable Services to Support Home-Based Continuous Care. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE, VOL. 15, NO. 2, MARCH 2011.
- (Parsia et al, 2005) Bijan Parsia, Evren Sirin, Bernardo Cuenca Grau, Edna Ruckhaus, Daniel Hewlett (2005). Cautiously Approaching SWRL.
- (Rakesh Agrawal, et al, 1994) Rakesh Agrawal, Ramakrishnan Srikant, Fast Algorithms for Mining Association Rules. Proceedings of the 20th VLDB Conference Santiago, Chile, 1994.
- (Rattanasawad et al, 2013) Thanyalak Rattanasawad, Kanda Runapongsa Saikaew, Marut Buranarach, Thepchai Supnithi. A Review and Comparison of Rule Languages and Rule-based Inference Engines for the Semantic Web. 2013 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC) : ICSEC 2013.
- (Rosch, 1978) Eleanor Rosch, (1978), "Principles of Categorization", in Eleanor Rosch & Barbara B. Lloyd (eds.), Cognition and Categorization (Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates) : 27-48.
- (Rosner et al, 2013) Daniel Rosner, Răzvan Tătăroiu, Constantin Ilas, Andreea Livia-Beciu, Ovidiu-Marius Alexandru. Efficient location tracking system for patient monitoring. 19th International Conference on Control Systems and Computer Science. ISBN : 978-1-4673-6140-8. 29-31 May 2013

- (Shahriyar et al, 2009) Rifat Shahriyar, Md. Faizul Bari, Gourab Kundu, Sheikh Iqbal Ahamed, and Md. Mostofa Akbar. 2009. Intelligent Mobile Health Monitoring System (IMHMS). International Journal of Control and Automation, Vol.2, No.3, 13-28.
- (Simon et Acker, 2008) Pierre Simon et Dominique Acker 2008. La place de la télémédecine dans l'organisation des soins. Pierre Simon et Dominique Acker Conseillers généraux des établissements de santé. CGES – Rapport Mission thématique NO 7/PS/DA. Novembre 2008.
- (Sirin et al, 2006) Evren Sirin and Bijan Parsia. Pellet System Description. Description Logics, CEUR Workshop Proceedings, Vol. 189, CEUR-WS.org, 2006.
- (Sowa, 1995) J. Sowa. 1995. Top-level ontological categories. International Journal of Human and Computer Studies, 43, 669-685.
- (Staab et al, 2001) S.Staab, R.Studer, H.P.Schnurr, Y.Sure (2001). Knowledge Processes and Ontologies. IEEE Intelligent Systems, January-February, 26-34.
- (Studer, 1998) Studer Benjamins Fensel. 1998. Knowledge Engineering : Principles and Methods. Data and Knowledge Engineering 25, 161-197.
- (Stoicu-Tivadar et al, 2009) V. Stoicu-Tivadar , L. Stoicu-Tivadar , V.Topac and D. Berian. 2009. A WebService-based Alarm Solution in a TeleCare System. 5th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics. 117-121.
- (Studer et al, 1998) R.Studer, R.Benjamins, D.Fensel (1998). Knowledge Engineering : Principles and Methods. Data Knowledge Engineering.
- (Thomesse et al, 2002) Jean-Pierre Thomesse et l'équipe du projet TISSAD. 2002. Les technologies de l'information intégrées aux services de soin à domicile : Le projet TISSAD. Informatique et santé, 27-34.
- (Uschold et King, 1995) Uschold, Michael, and Martin King. Towards a methodology for building ontologies. Artificial Intelligence Applications Institute, University of Edinburgh, 1995.
- (Uschold et al, 1995) M. Uschold, M. King, S. Moralee and Y. Zorgios (1995) The Enterprise Ontology.
- (Uschold et al, 1998) Mike Uschold, Martin King, Stuart Moralee and Yannis Zorgios (1998) The Enterprise Ontology The Knowledge Engineering Review , Vol. 13, Special Issue on Putting Ontologies to Use (eds. Mike Uschold and Austin Tate).
- (Uschold et Grüninger, 1996) Ontologies : Principles, methods and applications. Knowledge Engineering Review, 11(2).

- (Valero et al, 2009) Miguel A. Valero, Laura Vadillo, Iván Pau, and Ana Peñalver. 2009. An Intelligent Agents Reasoning Platform to Support Smart Home Telecare. IWANN 2009, Part II, LNCS 5518. 679–686.
- (Wang et al, 2002) A.Wang, J.Sable, K.Spackman (2002). The SNOMED clinical terms development process : refinement and analysis of content. Proc AMIA Symp, p. 845–849.

PUBLICATIONS

REVUES

1. Ahmed Benyahia, A. Hajjam, S. Talha, M. Hajjam, E. Andrès, V. Hilaire. E-care : évolution ontologique et amélioration des connaissances pour le suivi des insuffisants cardiaques. Médecine Thérapeutique. DOI : 10,1684/met,2014,0451. Pages : 79-86. Volume 20, Numéro 2, Avril-Mai-Juin 2014.
2. E. Andrès, S. Talha, A. Ahmed Benyahia, O. Keller, M. Hajjam, A. Moukadem, A. Dieterlen, J. Hajjam, S. Ervé, A. Hajjam. e-Santé : une solution d'avenir pour une prise en charge optimisée des pathologies chroniques. Exemple de la plateforme E-care dans le cadre de l'insuffisance cardiaque. Médecine Thérapeutique, 2014, Volume 20, Numéro 3. Pages : 127-136.
3. AHMED BENYAHIA, A. MOUKADEM, A. DIETERLEN, A. HAJJAM, S. TALHA and E. ANDRES. Adding Ontologies Based On PCG Analysis in E-care Project. ISSN : 2277-3754. ISO 9001 :2008. Certified International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 3, Issue 5, November 2013

CHAPITRES

1. A. AHMED BENYAHIA, A. HAJJAM, V. HILAIRE, H. HAJJAM « Ontological architecture for management of telemonitoring system and alerts detection », book chapter of : eHealth and Remote Monitoring, 2012, ISBN :978-953-51-0734-7.
2. A. AHMED BENYAHIA, A. HAJJAM, E. ANDRES, M. HAJJAM, V. HILAIRE "Including other system in E-Care telemonitoring platform", In volume 190 of Studies in Health Technology and Informatics, ISBN 978-1-61499-275-2, pages 115-117, IOS Press, 2013.

CONFÉRENCES INTERNATIONALES

1. Z. Bouguila, A. Moukadem, A. Dieterlen, A. Ahmed Benyahia, A. Hajjam, S. Talha and E. Andres. "Autonomous Cardiac Diagnostic Based on Synchronized ECG and PCG Signal", 7th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies – ESEO Angers 3-6 mars 2014.
2. AHMED BENYAHIA, A. HAJJAM, V. HILAIRE, M. HAJJAM, E. ANDRES « E-Care Telemonitoring System : Extend the platform ». The Fourth International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 2013, Piraeus, Greece.
3. AHMED BENYAHIA, A. HAJJAM, E. ANDRES, M. HAJJAM, V. HILAIRE « Including other system in E-Care telemonitoring platform ». International Conference on Informatics, Management and Technology in Healthcare ICIMTH, 2013, Athens, Greece.
4. AHMED BENYAHIA, A. HAJJAM, V. HILAIRE, H. HAJJAM « e-Care Ontological architecture for telemonitoring and alerts detection », 5 th IEEE International Symposium on Monitoring & Surveillance Research (ISMSR) : Healthcare-Safety-Security, 2012.

CONFÉRENCES ET JOURNÉES NATIONALES

1. HAJJAM, A. AHMED BENYAHIA, E. ANDRES, S. ERVE « e-Care : Vers une interopérabilité des ontologies pour le monitoring des maladies chroniques », GDR STIC-Santé, Université d'été de la e-Santé, 2012, Castres.
2. GUEDES, A. AHMED BENYAHIA, A. MOUKADEM, Z. BOUGUILA, A. HAJJAM, S. TALHA, E. ANDRES et A. DIETERLEN. Acquisition et analyse synchronisées des signaux PCG et ECG sous Android . Journée d'étude sur la Télésanté (JETSAN), Université de technologie de Troyes, 25 et 26 Juin 2014.
3. Amine AHMED BENYAHIA, Amir HAJJAM, La plateforme générique e-Care intégration du PCG. Workshop « Ingénierie des connaissances et traitement du signal pour la télémédecine ». Université de Haut Alsace, 13 Mars 2014.
4. Présentation de la plateforme e-Care aux Forum Innovation Santé Autonomie. Ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes. 15 et 16 Décembre 2014.
5. Présentation de la plateforme e-Care aux Journées Médicales de Strasbourg (JMS 2014) 15 et 16 Novembre 2014.

TABLE DES FIGURES

1.1	Données de mortalité dans le cadre de l'insuffisance cardiaque	8
1.2	Retentissement de l'insuffisance cardiaque sur la vie des patients	9
2.1	architecture de télésurveillance médicale	13
2.2	architecture de télésurveillance médicale	18
3.1	Phases du processus ASPECS	45
3.2	Processus d'analyse des besoins	47
3.3	Processus d'analyse des besoins	50
3.4	Processus itératif de construction d'ontologie	51
3.5	Méthode de construction d'une ontologie de domaine	54
3.6	Exemple de lien entre ontologie de domaine et ontologie du problème . . .	60
3.7	Processus d'inférence	62
4.1	Diagramme des buts	68
4.2	Ontologie du problème générique	69
4.3	Classe Utilisateur	71
4.4	Classe analyse	72
4.5	Classe Equipement	73
4.6	Classe Dossier médicalisé	73
4.7	Classe Habitat	74
4.8	Classe Alerte	75
4.9	Ontologie E-care	76

4.10 Ontologie de domaine des maladies	79
4.11 Ontologie de domaine des médicaments	82
4.12 Ontologie de domaine des facteurs de risques cardiovasculaires	84
4.13 Organisations	87
4.14 Rôle de l'organisation Collecte et transmission	88
4.15 Rôle de l'organisation Traitement et accès	89
4.16 Rôle de l'organisation Stockage	90
5.1 Architecture générique	95
5.2 Application E-care : Liste des patients	97
5.3 Application E-care : Patient sélectionné	98
5.4 Application E-care : réception d'une nouvelle mesure	98
5.5 Portail E-care : Espace d'un patient	102
5.6 Portail E-care : Mesures du patient	103
5.7 Portail E-care : Alerte détectée	104
5.8 Portail E-care : Données médicales	104
5.9 Séparation du modèle ontologique des données	105
5.10 mesures physiologique du cas étudié	108
5.11 alertes détectées par le système expert	109
5.12 Comparaison des mesures réalisées par les capteurs de la plateforme E-care avec les capteurs usuels utilisés au CHRU de Strasbourg	111

LISTE DES TABLES

2.1	synthèse du suivi des activités quotidiennes à domicile (domotique)	38
2.2	synthèse du suivi du comportement et l'état physiologique du patient	39
4.1	Facettes des attributs de l'ontologie des antécédents	78
4.2	Exemple de la hiérarchie ATC	80
4.3	Facettes des attributs de l'ontologie des médicaments	81
4.4	Facettes des attributs de l'ontologie des facteurs de risques cardiovasculaires	84
4.5	Relations entre l'ontologie du problème et les ontologies de domaine	85

RÉSUMÉ

La thèse, réalisée dans le cadre du projet « investissements d'avenir » E-care, propose un processus méthodologique pour faciliter l'analyse et la conception de systèmes de télésurveillance médicale pour la détection précoce de signes précurseurs à toute complication. La méthodologie proposée est basée sur un système multi-agents utilisant plusieurs types d'ontologies associées à un système expert. Le système multi-agents est adapté à la télésurveillance médicale avec une architecture distribuée pour garder une certaine autonomie et réactivité des habitats. Les architectures ainsi conçues, prennent en compte l'ensemble des données du patient : son profil, ses antécédents médicaux, les traitements médicamenteux, les données physiologiques et comportementales ainsi que les données relatives à son environnement et à son hygiène de vie. Ces architectures doivent être ouvertes pour s'adapter à de nouvelles sources de données.

Cette méthodologie a été appliquée au projet E-care définissant ainsi son système d'information. Ce système d'information est composé de deux types d'ontologies représentant les connaissances pertinentes ainsi qu'un système expert pour la détection de situations à risque. Une première ontologie du problème a été construite pour gérer le système, les acteurs et leurs tâches. Par la suite, trois ontologies de domaine ont été construites représentant, les maladies, les médicaments et les facteurs de risque cardio-vasculaire. Le système expert exploite des règles d'inférences construites en collaboration avec les experts médicaux et en utilisant des guides de bonnes pratiques dans le domaine de la cardiologie. Cette méthodologie a défini également l'architecture du système composé de quatre types d'agents autonomes à savoir : des capteurs pour la prise de mesures, une passerelle pour la collecte et la transmission depuis les habitats, un serveur pour le traitement et l'accès aux données, et enfin une base de données pour le stockage sécurisé des données des patients.

Le système E-care a été testé et validé en utilisant des tests et des simulations inspirés de cas réels. Par la suite, une expérimentation a été faite pour la validation des différents composants du système dans milieu de télésurveillance médicale. Cette expérimentation est passée par deux phases, la première s'est déroulée au CHRU de Strasbourg, et la deuxième est en cours aux domiciles des patients.

mots clés : Ontologie, systèmes multi-agents, système expert, représentation des connaissances, télésurveillance médicale, télé-santé.

ABSTRACT

The thesis, conducted as part of the E-care project, proposes a methodological process to facilitate the analysis and design of medical remote monitoring systems for early detection of signs of any complications. The proposed methodology is based on a multi-agent system using several types of ontologies associated with an expert system. The multi-agent system is suitable for medical monitoring with a distributed architecture to keep some autonomy and responsiveness of habitats. The process identifies the generic and specific aspects of each system. The designed architectures take into account all the patient data such as : patient profile, medical history, drug treatments, physiological and behavioral data, as well as data relating to patient's environment and his lifestyle. These architectures should be open to be adapted to new data sources.

This methodology was applied to E-care project in order to define its information system. This information system is composed of two types of ontologies (problem ontology and several domain ontologies) and an expert system for the detection of risk situations. The problem ontology was built to manage the system including users and their tasks. Three domain ontologies have been built to represent, disease, drugs and cardiovascular risk factors. The expert system uses inference rules which are defined in collaboration with medical experts using their knowledge and using medical guidelines. This methodology also defined the system architecture which consists of four autonomous agents types namely : medical sensors to collect physiological measurements. The gateway collects data from sensors and transmits them from the patients' homes, to the server. The server processes data and gives access to them. Finally the data base secures storage of patient data.

As part of the E-care project, an experiment was conducted to validate the various system components. This experiment has gone through two phases, the first was held at the University Hospital of Strasbourg, and the second is in the patients' homes.

Keywords : Ontology, multi-agents system, expert system, knowledge representation, telemonitoring, eHealth.

— SPIM

■ École doctorale SPIM - Université de Technologie Belfort-Montbéliard
F - 90010 Belfort Cedex ■ tél. +33 (0)3 84 58 31 39
■ ed-spim@univ-fcomte.fr ■ www.ed-spim.univ-fcomte.fr

