

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA**

**Faculté des sciences**

Département d'informatique



**MEMOIRE DE MASTER**

**En Informatique**

Option : Ingénierie Des Logiciels

**THÈME :**

**Ontologie probabiliste pour l'aide au diagnostic  
médical dans le contexte des Objets Connectés  
Médicaux**

Réalisé par  
BOUSSEKINE Mohamed Redha  
SAIDOUNE Elyace

Encadré par  
Mr. I. Riali  
Mme. M. Fareh

soutenu le :  
14 juillet 2021

Mme LAHIANI. Présidente  
Mme BERRAMDANE. Examineur

## Remerciements

En préambule a ce mémoire nous remercions ALLAH de nous avoir donné la santé, la patience et le courage durant ces longues années d'études et de pouvoir réussir ce modeste travail. Ce travail est l'aboutissement d'un long cheminement au cours duquel nous avons bénéficié d'encadrement, des encouragements et du soutien de plusieurs personnes, à qui nous tenons à dire profondément et sincèrement merci.

En second lieu, nous tenons à remercier **Mr. Riali Ishak** pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port et pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nous remercions très chaleureusement notre promotrice **Mme. FAREH** pour son soutien, ses précieux conseils tout au long de notre parcours. Nous avons eu le privilège de travailler parmi votre équipe et d'apprécier vos qualités, vos valeurs, votre sérieux et votre compétence.

Nous tenons à remercier également **Dr MENHAOUCH Nassima**, chirurgien résidente au centre de lutte contre le cancer service de chirurgie oncologique, Hopital Frantz Fanon Blida.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles : Nos parents, nos sœurs, nos frères et tous nos proches et amis, qui nous ont accompagnés, aidé, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

## Résumé

Faire un diagnostic médical fiable nécessite l'identification de la maladie en se basant sur l'observation des signes et symptômes du patient. De plus, les ontologies constituent un formalisme suffisant et efficace pour représenter les connaissances biomédicales. Cependant, les ontologies classiques ne permettent pas de représenter les connaissances incertaines, c'est pour cette raison que les ontologies probabilistes ont été proposées afin de représenter l'incertitude.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à concevoir un système d'aide au diagnostic médical, dans le contexte des objets connectés médicaux, qui vise à intégrer l'incertitude dans les ontologies.

Nous suivons la méthodologie UMP-ST basée sur les réseaux bayésiens multi-entité, pour modéliser l'ontologie probabiliste, en exploitant une ontologie classique « HealthIot » qui sert à représenter la connaissance médicale dans le contexte d'IOT . Nous appliquons ce processus sur le cas d'étude du diagnostic des maladies Cardio-vasculaire.

### **Mots clés :**

**Ontologie, ontologie probabiliste, réseaux bayésiens, réseaux bayésiens multi-entité, incertitude.**

## **Abstract**

Making a reliable medical diagnosis requires identifying the patient's disease based on the observation of the patient's signs and symptoms. Moreover, ontologies are a sufficient and efficient formalism to represent biomedical knowledge. However, classical ontologies do not allow to represent uncertain knowledge, that is why probabilistic ontologies have been proposed to represent uncertainty.

In this work, we are interested in designing a medical diagnosis support system, in the context of medical connected objects, which aims at integrating uncertainty in ontologies.

We follow the UMP-ST methodology based on multi-entity Bayesian networks, to model the probabilistic ontology, exploiting a classical ontology "HealthIot" which is used to represent medical knowledge in the context of IOT . We apply this process to the case study of cardiovascular disease diagnosis.

### **Keywords :**

**ontology, probabilistic ontology, Bayesian networks, multi-entity Bayesian networks, uncertainty.**

## ملخص :

يتطلب إجراء تشخيص طبي موثوق به تحديد مرض المريض بناءً على ملاحظة علامات وأعراض المريض. بالإضافة إلى ذلك ، تشكل الأنطولوجيا شكلية كافية وفعالة لتمثيل المعرفة الطبية الحيوية. ومع ذلك ، فإن الأنطولوجيا الكلاسيكية لا تسمح بتمثيل المعرفة غير المؤكدة ، ولهذا السبب تم اقتراح الأنطولوجيا الاحتمالية من أجل تمثيل عدم اليقين. في هذه الأطروحة ، نحن مهتمون بتصميم نظام مساعدة تشخيص طبي ، في سياق في سياق الأشياء الطبية المتصلة، والذي يهدف إلى دمج عدم اليقين في الأنطولوجيا. نحن نتبع منهجية القائمة على شبكات بايز متعددة الكيانات ، لنمذجة الأنطولوجيا الاحتمالية ، من نقوم بتطبيق هذه خلال استغلال الأنطولوجيا الكلاسيكية والتي تُستخدم لتمثيل المعرفة الطبية في سياق انترنت الاشياء العملية على حالة الدراسة التشخيصية لأمراض القلب والأوعية الدموية.

**الكلمات المفتاحية :** الأنطولوجيا ، الأنطولوجيا الاحتمالية ، الشبكات البايزية ، الشبكات متعددة الكيانات البايزية ، عدم اليقين

---

# Table des matières

---

<b>Table des figures</b>	<b>9</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>11</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>13</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>15</b>
Contexte de travail . . . . .	15
Problématique . . . . .	15
Objectifs du travail . . . . .	16
Organisation du mémoire . . . . .	16
<b>1 Les ontologies classiques et les Ontologies probabilistes</b>	<b>19</b>
1.1 Introduction . . . . .	19
1.2 Ontologie classique . . . . .	19
1.2.1 Définition . . . . .	19
1.2.2 Les composants d'une ontologie . . . . .	20
1.2.2.1 Les concepts (classes) . . . . .	20
1.2.2.2 Les relations (propriétés) . . . . .	21
1.2.2.3 Les axiomes (règles) . . . . .	21
1.2.2.4 Les fonctions . . . . .	21
1.2.2.5 Les instances (individus) . . . . .	21
1.2.3 Les langages des ontologies . . . . .	21
1.2.4 Les avantages de l'utilisation des ontologies . . . . .	24
1.3 L'incertitude . . . . .	24
1.3.1 Définition . . . . .	25
1.3.2 L'incertitude dans les ontologies . . . . .	25
1.3.3 Gestion de l'incertitude . . . . .	25
1.4 Ontologie probabiliste . . . . .	25

1.4.1	Définition . . . . .	25
1.4.2	Les réseaux bayésiens standards . . . . .	26
1.4.2.1	Inférence dans les réseaux bayésiens . . . . .	26
1.4.3	Multi-Entity Bayesian Networks (MEBN) . . . . .	26
1.4.3.1	Fragments MEBN (MFrag) . . . . .	27
1.4.3.2	Théories MEBN (MTheory) . . . . .	28
1.5	L'ontologie probabiliste PR-OWL . . . . .	28
1.6	Les principales différences entre l'ontologie probabiliste PR-OWL et OWL . . . . .	28
1.7	La méthodologie UMP-ST . . . . .	29
1.8	Conclusion . . . . .	31
<b>2</b>	<b>L'internet des objets et l'internet des objets médicaux</b>	<b>33</b>
2.1	Introduction . . . . .	33
2.2	Internet des objets IOT . . . . .	33
2.2.1	Définition . . . . .	34
2.2.2	Les différents systèmes de l'IOT . . . . .	34
2.3	Internet des objets médicaux IOMT . . . . .	35
2.3.1	Définition . . . . .	35
2.3.2	Les modèles de communication . . . . .	36
2.3.2.1	Machine-to-machine communication . . . . .	36
2.3.2.2	Device-To-Cloud Communication . . . . .	36
2.3.2.3	Device-To-Gateway communication . . . . .	37
2.3.2.4	Back-End Data-Sharing communication . . . . .	37
2.4	Travaux connexes . . . . .	37
2.4.1	Semantic Sensor Network SSN . . . . .	37
2.4.1.1	SenML (Sensor Measurement Lists) . . . . .	38
2.5	Discussion . . . . .	42
2.6	L'ontologie Health-Iot . . . . .	43
2.6.0.1	MCO knowledge . . . . .	45
2.6.0.2	Patient knowledge . . . . .	46
2.6.0.3	Context knowledge . . . . .	47
2.7	Conclusion . . . . .	48
<b>3</b>	<b>Analyse et Conception</b>	<b>49</b>
3.1	Introduction . . . . .	49
3.2	Motivation de l'étude de cas . . . . .	49
3.3	Le Dataset . . . . .	50
3.3.1	Description des données . . . . .	50
3.4	Schéma global . . . . .	51
3.5	Création de l'ontologie probabiliste . . . . .	55

3.5.1	Les exigences . . . . .	55
3.5.1.1	Les buts . . . . .	55
3.5.2	Analyse . . . . .	55
3.5.2.1	Entités et propriétés . . . . .	55
3.5.2.2	Mesure . . . . .	56
3.5.2.3	Les groupes . . . . .	57
3.5.3	Implémentation . . . . .	58
3.5.3.1	Mapping . . . . .	58
3.5.3.2	Probabilités . . . . .	64
3.5.4	Test . . . . .	65
3.5.4.1	Evaluation . . . . .	66
3.6	Conclusion . . . . .	69
<b>4</b>	<b>Résultats expérimentaux et évaluation</b>	<b>71</b>
4.1	Introduction . . . . .	71
4.2	Langages de Programmation . . . . .	71
4.2.1	Java . . . . .	71
4.3	Outils de développement . . . . .	71
4.3.1	Eclipse IDE . . . . .	72
4.3.2	Protégé . . . . .	72
4.3.3	GeNIe . . . . .	72
4.4	API Utilisé . . . . .	72
4.4.1	OWL API . . . . .	72
4.4.2	Protégé OWL API . . . . .	73
4.4.3	UnBBayes . . . . .	73
4.4.4	Java swing API . . . . .	73
4.5	La mise en œuvre du système . . . . .	73
4.6	La base de connaissance . . . . .	73
4.7	Les interfaces graphiques . . . . .	74
4.7.1	L'interface d'accueil . . . . .	75
4.7.2	Liste des patients . . . . .	76
4.7.3	Ajouter patient . . . . .	76
4.7.4	Informations du patient . . . . .	78
4.7.5	Détail de la prédiction . . . . .	79
4.8	La validation du système . . . . .	79
4.9	Conclusion . . . . .	81
	<b>Bibliographie</b>	<b>85</b>



---

# Table des figures

---

1.1	exemple de triplets RDF [15] . . . . .	22
1.2	Exemple de graphe RDF avec des triplets [15] . . . . .	22
1.3	Exemple d'expression RDFS . . . . .	23
1.4	Scénario décrit par OWL . . . . .	23
1.5	Exemple graphe OWL . . . . .	24
1.6	Modèle simple PR-OWL [31] . . . . .	27
1.7	Cycle de modélisation de l'ontologie probabiliste (UMP-ST) [13] . . . . .	30
2.1	L'architecture de l'IOMT . . . . .	36
2.2	Class,Object,Property de l'Ontologie health-Iot . . . . .	44
2.3	la hiérarchie de l'ontologie HealthIot [47] . . . . .	45
3.1	Schéma global . . . . .	52
3.2	La hiérarchie de l'ontologie HealthIot après la modification . . . . .	53
3.3	Ontologie health-Iot après modification . . . . .	54
3.4	Diagramme de classe . . . . .	58
3.5	MTheory Tree . . . . .	59
3.6	Variable ordinaire « P » . . . . .	59
3.7	Nœud résident « Is Smoking » . . . . .	60
3.8	Nœud contexte « IsA() » . . . . .	60
3.9	Nœud dentre « Heart Rate » . . . . .	60
3.10	MFrag « Patient » . . . . .	61
3.11	MFrag « Smoking » . . . . .	61
3.12	MFrag « Organic » . . . . .	62
3.13	MFrag « Clinical » . . . . .	62
3.14	MFrag « Antecedent » . . . . .	63
3.15	MFrag « Diagnostic » . . . . .	63
3.16	LPD du MFrag HasRisk . . . . .	64
3.17	Résultat SSBN pour le nœud Has Risk(Patient P). . . . .	65

3.18	SSBN test01 . . . . .	67
3.19	SSBN test02 . . . . .	69
4.1	Fichier PLM . . . . .	74
4.2	Interface d'accueil . . . . .	75
4.3	interface liste des patients . . . . .	76
4.4	interface ajouter patient . . . . .	77
4.5	interface information patient . . . . .	78
4.6	interface Détail de prédiction . . . . .	79
4.7	Formule mathématique pour calculer précision,rappel,F-mesure et accuracy . . . .	80
4.8	Hitogramme precision, recall, F-mesure, accuracy . . . . .	81

---

# Liste des tableaux

---

1.1	Principales différences entre OWL et PR-OWL . . . . .	29
2.1	Couches de concept de « service oriented architecture » . . . . .	35
2.2	Résumé des travaux connexes . . . . .	41
3.1	Description du schéma global . . . . .	53
3.2	Entités et leurs attributs . . . . .	56
3.3	Entités et leurs relations . . . . .	56
3.4	Catégorisation d'attributs. . . . .	57
4.1	Matrice de confusion . . . . .	79



---

# Liste des abréviations

---

- AI** Artificial Intelligence. 19, 20
- API** Application Programming Interface. 8, 72, 73
- AVC** Accidents Vasculaires Cérébraux. 51
- BN** bayesian network. 26
- BSN** Body Sensor Network. 35
- DAG** directed acyclic graph. 27
- ECG** ELECTRO CARDIOGRAM. 35, 40, 41
- EEG** electroencephalogram. 35
- EHR** Electronic Health Record. 39, 41, 42
- EMG** Electromyography. 35
- FHIR** Fast Healthcare Interoperability Resources. 40
- GUI** Graphical User Interface. 72
- HL7** Health Level-7. 39–41
- IAB** Internet Architecture Board. 36
- IBM** International Business Machines. 72
- IDE** Integrated Development Environment. 8, 72
- IOMT** Internet Of Medical Things. 7, 9, 17, 33, 35–39, 41, 42, 83
- IOT** Internet Of Things. 4, 7, 17, 33–43, 45, 46, 83
- IP** Internet Protocol. 36
- JSON** JavaScript Object Notation. 38
- LPD** Local Probability Distributions. 64, 84

**M2M** Machine-to-machine communication. 36, 39, 41

**MCO** Medical COnnected Objects. 7, 45, 46

**MCV** Les Maladies CardioVasculaires. 49, 64, 66, 68, 69, 79, 80

**MEBN** Multi-Entité Bayésien Networks. 7, 16, 17, 26–28, 43, 58, 83

**NFC** Near Field Communication. 34

**openEHR** open standard specification. 39

**OWL** Ontology Web Language. 7, 16, 23, 28, 29, 49, 59, 72, 73

**POMC** probabilistic cycle of ontological modeling. 29

**PR-OWL** probabilistic extension to OWL. 7, 9, 16, 17, 26–30, 43, 49, 58, 66, 71, 83

**RDF** Resource Description Framework. 22, 23, 29, 72

**RDFS** Resource Description Framework Schema. 22, 23, 72

**RFID** Radio Frequency Identification. 34, 36, 46

**RHM** Remote Healthcare Monitoring. 35

**senML** Sensor Measurement Lists. 38, 39, 42

**SOSA** Sensor, Observation, Sample, and Actuator. 37, 41

**SSBN** situation-specific Bayesian network. 64, 67

**SSN** Semantic Sensor Network. 7, 37, 41, 42, 45

**UMP-ST** Uncertainty modeling process for semantic technology. 4, 7, 9, 16, 17, 19, 29, 30, 49, 55, 69, 71, 83

**UP** unified process. 29

**VR** random variables. 64

**W3C** World Wide Web Consortium. 21

**XML** Extensible Markup Language. 22, 23, 29, 38

---

# Introduction générale

---

## Contexte

L'Internet des objets (IOT) a évolué d'une façon rapide et remarquable, touchant un nombre important d'appareils intelligents et des machines qui sont connectés les uns aux autres et à Internet. Ils capturent des informations pertinentes sur leur environnement direct, puis les analysent et les relient.

L'Internet des objets s'est impliqué dans plusieurs domaines. Par exemple, l'intersection avec la médecine, a donné naissance à ce qu'on appelle L'internet des objets médicaux, les appareils connectés peuvent aider les professionnels de la santé à surveiller les patients à l'intérieur et à l'extérieur d'un hôpital. Les ordinateurs peuvent ensuite évaluer les données pour aider les praticiens à ajuster les traitements et à améliorer les résultats pour les patients.

La médecine est regorgé de connaissances incertaines, malgré le succès des ontologies, les ontologies classiques ne peut gérer les connaissances incertaines et se basent uniquement sur les experts du domaine. En effet, l'ontologie classique est basée sur la logique booléenne et ne permet pas de représenter des données incertaines.

Plusieurs techniques ont été proposées pour confronter le problème de raisonnement sous incertitude, tel que la logique floue, la logique de possibilité et l'approche probabiliste (les ontologies probabilistes) basées sur les réseaux bayésiens qui permettent de décrire en détail les connaissances incertaines de manière raisonnée, structurée et partageable et de modéliser l'incertitude par des facteurs de probabilité et des liens de causalité. Qui a été employée aussitôt dans le domaine médicale à travers le langage PR-OWL, donnant ainsi naissance à l'ontologie probabiliste permettant de modéliser les données incertaines.

## Problématique

Dans le domaine médical les connaissances sur une maladie sont incertaines, et des fois complexes. Les médecins sont régulièrement amenés à déduire plusieurs décisions, alors que dans des cas, la décision prise n'est pas évidente, car généralement, le domaine de la santé est

rempli d'incertitude.

Avec la croissance exponentielle du nombre de appareils médicaux connectés, des problèmes sont confrontés lors de développement des systèmes IoMT interopérables, parmi lesquels (a) comment représenter les données provenant des dispositifs portables du patient qui sont souvent de nature incertaine ; et représenter la sémantique de ces données incertaines afin de faciliter leur traitement automatique par les machines ; et raisonner sur ces connaissances pour prédire le diagnostic adéquat selon la situation observée.

Les ontologies classiques permettent de représenter les connaissances. Ce sont des représentations qui regroupent un ensemble de concepts et de relations décrivant un domaine particulier. Un des principaux défauts de l'ontologie classique est l'incapacité de représenter et de raisonner sur l'incertitude Cette incertitude peut se manifester au cours de la prédiction d'un patient atteint par la maladie Cardio-vasculaire, cela conduit à poser les questions suivantes :

1. Comment modéliser ces connaissances incertaines dans le domaine médical ?
2. Comment construire l'ontologie probabiliste pour prédire le diagnostic médical à partir des données incertaines issues des objets médicaux connectés, et sur quoi se base son fonctionnement ?
3. La mise en place du système commence par l'identification d'un ensemble des règles, quels sont les étapes à suivre et les outils nécessaires pour établir ce système d'aide au diagnostic médical basé sur les ontologies probabilistes ?

## Objectif

A partir de ce problème, nous constatons qu'il y a des connaissances incertaines qui empêchent la prise de la décision adéquate. De ce fait notre objectif est de construire et de réaliser un système d'aide au diagnostic médical de la maladie Cardio-vasculaire à partir de l'ontologie classique HealthIot.

Nous allons suivre les étapes de la méthodologie UMP-ST (Uncertainty Modeling Process for Semantic Technology) pour le rendre probabiliste, nous utilisons les notions des réseaux bayésiens pour notre étude de cas le MEBN (Multi EntityBayesian Networks) est le réseau bayésien choisi, il permet de créer un outil pour implémenter l'ontologie probabiliste PR-OWL (PProbabilistic Ontology Web Language) à l'aide d'une ontologie classique OWL (Ontology Web Language).

## Organisation du mémoire

Pour mener à bien notre travail, ce mémoire sera présenté en deux parties. Nous avons organisé notre travail comme suit :



## **La première partie :**

Contient les chapitres 1 et 2, qui présentent le contexte du travail, qui sert à définir les ontologies classiques, les ontologies probabilistes, les réseaux bayésiens standards, les réseaux bayésiens multi-entités, l'internet des objets médicaux et les travaux connexes.

- **Chapitre 1 : les ontologies classiques et les ontologies probabilistes :** Dans ce chapitre nous allons définir deux types d'ontologies, classiques et probabilistes, leurs différents composants, leurs objectifs ainsi que les différents langages pour représenter ces deux types d'ontologies , nous présentons aussi une comparaison entre les langages de représentation. Nous allons présenter la méthodologie UMP-ST comme une approche pour modéliser les ontologies probabilistes. Nous citons les différentes définitions des réseaux bayésiens standards et les réseaux bayésiens multi-entités (MEBN).
- **Chapitre 2 : l'internet des objets et l'internet des objets médicaux :** Dans ce chapitre nous allons définir cette technologie et ses différents systèmes et techniques impliqués, ainsi que l'utilisation d'IOT dans le domaine médical, et ses modèles de communication. Nous parlerons aussi de quelques travaux reliés au IOMT et les différentes ontologies proposées, en expliquant en détail l'ontologie HealthIot que nous allons utiliser, avec une analyse et discussion de ces travaux.

## **La deuxième partie :**

Après la présentation du contexte de travail, cette partie est consacrée à la conception et le développement du système.

- **Chapitre 3 : Analyse et Conception :** Ce chapitre présente la motivation de notre cas d'étude, le processus de construction d'une ontologie PR-OWL à partir d'une ontologie classique OWL existante (HealthIot), tout en suivant les différentes étapes de la méthodologie UMP-ST pour construire l'ontologie probabiliste.
- **Chapitre 4 : Résultats expérimentaux et évaluation :** Ce chapitre est le résultat de la conception pour la mise en œuvre de notre ontologie probabiliste PR-OWL, et notre système qui permet de faire l'inférence de notre cas d'étude, à la fin de ce chapitre nous effectuons des tests et la validation de notre système.

Ce mémoire sera finalisé par une conclusion générale reprenant les principaux points abordés, en exposant certaines perspectives d'approfondissement, et d'amélioration de notre travail.



## *Chapitre 1*

---

# **Les ontologies classiques et les Ontologies probabilistes**

---

## **1.1 Introduction**

Les ontologies classiques sont des structures conceptuelles de base à partir des quelles il est possible de développer des systèmes à base de connaissances qui soient partageables, et réutilisables.

Les ontologies classiques ont un problème de représentation et de raisonnement sur l'incertitude car elles n'ont pas cette capacité, C'est pour cela l'utilisation des ontologies probabilistes est nécessaire.

Ce chapitre présente deux sortes d'ontologies, classique et probabiliste, leurs définitions et leurs différents composants.

Nous allons décrire quelques langages de représentation de ces deux types d'ontologies et les notions des réseaux bayésiens, tout en introduisant la notion d'incertitude, finissant par la méthodologie UMP-ST que nous allons suivre ses étapes pour la construction de notre ontologie probabiliste .

## **1.2 Ontologie classique**

Un modèle de données qui représente la connaissance comme un ensemble de concepts dans un domaine et les relations entre ces concepts. Il peut être utilisé pour raisonner sur les entités dans ce domaine et peut être utilisé pour décrire le domaine.

### **1.2.1 Définition**

Depuis les années 1970, les chercheurs dans le domaine de l'intelligence artificiel AI ont reconnu la capture des connaissances qui est la clé de la construction de grands et puissants sys-

tèmes d'AI. Les chercheurs de l'AI ont fait valoir qu'ils pourraient créer de nouvelles ontologies en tant que modèles informatiques qui permettent certains types de raisonnement automatisé. Dans les années 1980, la communauté de l'AI a commencé à utiliser le terme ontologie pour désigner à la fois une théorie d'un monde modélisé et une composante des systèmes de connaissance. Certains chercheurs, s'inspirant des ontologies philosophiques, considèrent l'ontologie computationnelle comme une sorte de philosophie appliquée

Gruber a introduit le terme [29] pour signifier une spécification d'une conceptualisation : « une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation » «une ontologie est une description (comme une spécification formelle d'un programme) des concepts et des relations qui peuvent exister formellement pour un agent ou une communauté d'agents. Cette définition est cohérente avec l'utilisation de l'ontologie comme ensemble de définitions de concepts, mais plus générale.

Brost [45] modifia légèrement la définition de Gruber en énonçant que : «une ontologie est définie comme étant une spécification formelle d'une conceptualisation partagée».

- **explicite** : signifie que le type de concepts utilisés et les contraintes liés à leur usage sont définis explicitement.
- **formel** : réfère au fait qu'une ontologie doit être traduite en langage interprétable par une machine.
- **Partagée** : l'ontologie n'est pas la propriété d'un individu, mais elle représente un consensus accepté par une communauté d'utilisateurs[30]

Ces deux définitions ont été expliquées par Studer et ses collègues comme suit : Conceptualisation réfère à un modèle abstrait d'un phénomène dans le monde, en ayant identifié les concepts appropriés à ce phénomène.

La même notion est également développée par Gomez[28] comme : « une ontologie fournit les moyens de décrire de façon explicite la conceptualisation des connaissances représentées dans une base de connaissances».

## 1.2.2 Les composants d'une ontologie

Les connaissances décrivant un domaine en utilisant la notion d'ontologie sont représentées par les cinq éléments suivants : Les concepts, les relations, les axiomes, les fonctions et les instances[28].

### 1.2.2.1 Les concepts (classes)

Les concepts peuvent être une pensée, un principe, une notion profonde. Ils sont appelés aussi termes ou classes de l'ontologie, un concept peut être divisé en deux parties Un terme (ou

plusieurs).

Une notion : est l'intention ou la sémantique du concept formulé de propriétés et d'attributs, aussi de règles et des contraintes souvent nommées extension du concept.

Selon Gomez Pérez [28] ces concepts peuvent être classifiés selon plusieurs dimensions :

- Niveau d'abstraction (concret ou abstrait).
- Atomicité (élémentaire ou composée).
- Niveau de réalité (réel ou fictif).

### 1.2.2.2 Les relations (propriétés)

Les relations d'une ontologie désignent les différentes interactions entre les concepts de l'ontologie, les relations peuvent être caractérisées à partir de ces concepts.

### 1.2.2.3 Les axiomes (règles)

Les axiomes sont utilisés pour décrire les assertions de l'ontologie qui seront considérés après comme vrais, Ils ont pour but de définir dans un langage logique la description des concepts et des relations permettant de représenter leur sémantique (définir les significations des composants d'ontologie, les contraintes sur les valeurs des attributs, et les arguments de relations).

### 1.2.2.4 Les fonctions

Elles constituent des cas particuliers de relation, dans laquelle un élément de la relation, le nième est défini en fonction des n-1 éléments précédents, les fonctions sont définies telles que :  
 $F : c_1 * c_2 * \dots * c_{n-1} * c_n$ .

### 1.2.2.5 Les instances (individus)

C'est la définition extensionnelle de l'ontologie, elles sont utilisées pour représenter des éléments spécifiques dans un domaine donné [50], par exemple les signes «TOYOTA» et «RENAULT» sont des instances du concept «voiture».

## 1.2.3 Les langages des ontologies

### • RDF

Est une famille de spécifications du World Wide Web Consortium W3C conçues à l'origine comme un modèle de données de métadonnées (formalisme graphique). Il est maintenant utilisé comme méthode générale pour la description conceptuelle ou la modélisation de l'information qui est mise en œuvre dans les ressources Web, en utilisant une variété de notations syntaxiques et de formats de sérialisation des données. Il est également utilisé dans les applications de gestion

des connaissances, Il est basé sur la notion de triplet (sujet, prédicat, objet), utilise la syntaxe XML

```
Exemple de triplets RDF

<Bob> <est une> <personne>.
<Bob> <est ami avec> <Alice>.
<Bob> <est né le> <4 juillet 1990>.
<Bob> <est intéressé par> <la Mona Lisa>.
<la Mona Lisa> <a été créée par> <Leonardo da Vinci>.
<la vidéo "La Joconde à Washington"> <est à propos de> <la
Mona Lisa>
```

FIGURE 1.1 – exemple de triplets RDF [15]

Le graphe RDF correspondant aux triplets du tableau 1.1 est présenté dans la figure 1.1 suivante :

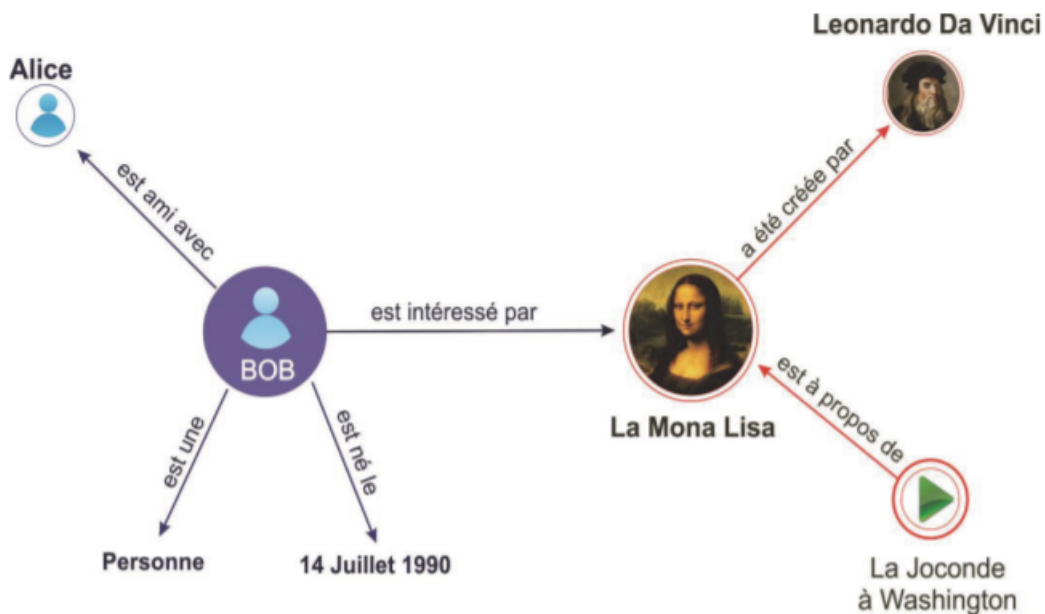
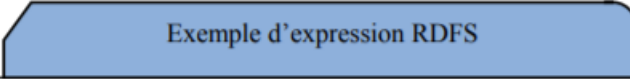


FIGURE 1.2 – Exemple de graphe RDF avec des triplets [15]

### • RDF schéma

RDF Schéma. C'est un langage taxonomique de représentation de connaissances dans le Web permettant de structurer les ressources RDF. Il permet de décrire les relations entre les ressources tout en définissant la hiérarchie qui existe entre elles. Par exemple (voir la figure 1.3), RDFS permet d'exprimer des énoncés ensemblistes par exemple : « Tout Auteur est une personne ». RDF Schéma (RDFS) [12] est un langage qui étend RDF avec un vocabulaire de termes et les

relations entre ses termes. RDFS est reconnu comme un langage d'ontologie qui définit : Des classes et des propriétés. Les sous-classes, les superclasses, les sous-propriétés, et les super propriétés. Le domaine de définition et le domaine image des propriétés.



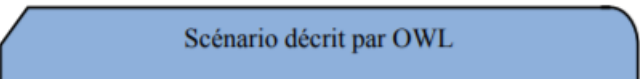
```
<rdfs:Class rdf:ID= " Personne "/>
<rdfs:Class rdf:ID= "Auteur ">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Personne"/>
</rdfs:Class>
```

FIGURE 1.3 – Exemple d'expression RDFS

### • OWL

Est un langage de description d'ontologie conçu pour la publication et le partage des ontologies sur le web sémantique. Il définit un vocabulaire riche pour la description des ontologies complexes. OWL est basé sur une sémantique formelle définie par une syntaxe rigoureuse. OWL peut être utilisé pour représenter explicitement les sens des termes de vocabulaire et les relations entre ces termes.

OWL a des moyens plus puissants pour exprimer la signification et la sémantique que XML, RDF, et RDFS [12]. Le langage OWL se compose de trois sous langages qui proposent une expressivité croissante, chacun conçu pour des communautés de développeurs et des utilisateurs spécifiques : OWL Lite, OWL DL et OWL Full [8]. Considérons, par exemple, un scénario décrit par OWL au figure1.4 :



```
<Bob> <est le mari de > <Alice>
<Alice et Bob> <ont eu> <deux enfants>
<Jacques> <est le fils de > <Bob>
<Marise> <est la fille de > <Alice>
```

FIGURE 1.4 – Scénario décrit par OWL

Voici la figure1.5 exemple de graphe OWL :

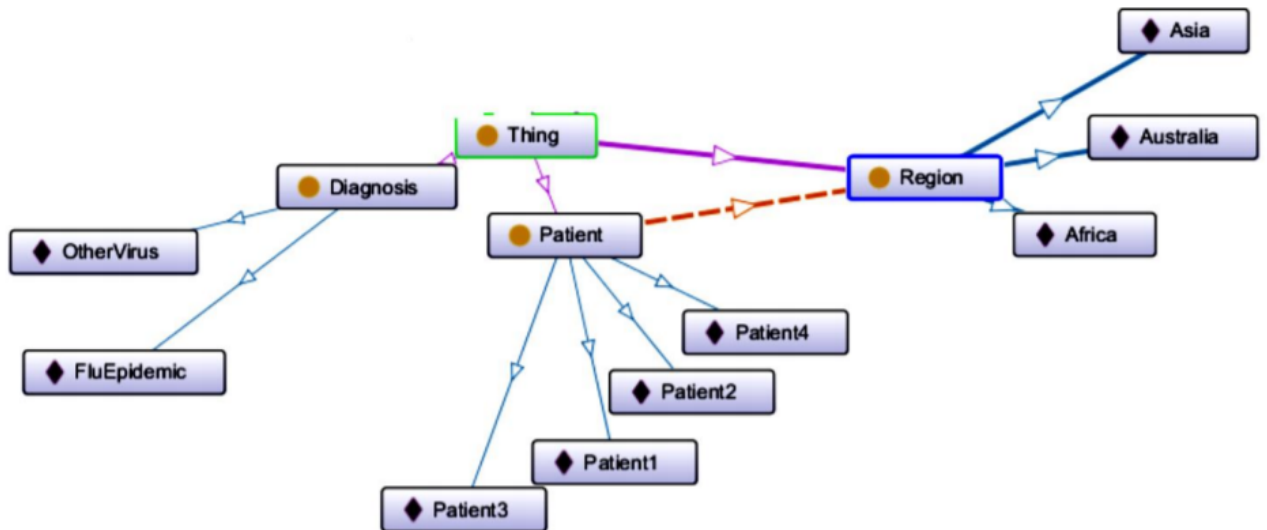


FIGURE 1.5 – Exemple graphe OWL

## 1.2.4 Les avantages de l'utilisation des ontologies

L'une des principales caractéristiques des ontologies est qu'en intégrant les relations essentielles entre les concepts, elles permettent un raisonnement automatisé sur les données. Un tel raisonnement est facile à mettre en œuvre dans les bases de données de graphes sémantiques qui utilisent les ontologies comme leur schéma sémantique.

De plus, les ontologies fonctionnent comme un « cerveau ». Ils « travaillent et raisonnent » avec des concepts et des relations proches de la façon dont les humains perçoivent les concepts inter-reliés.

En plus de la fonction de raisonnement, les ontologies offrent une navigation plus cohérente et plus facile à mesure que les utilisateurs passent d'un concept à un autre dans la structure ontologique.

Une autre caractéristique précieuse est que les ontologies sont faciles à étendre car les relations et le jumelage de concepts sont faciles à ajouter aux ontologies existantes. Par conséquent, ce modèle évolue avec la croissance des données sans avoir d'incidence sur les processus et les systèmes dépendants si quelque chose tourne mal ou doit être modifié.

## 1.3 L'incertitude

L'incertitude, l'imprécision et l'incomplétude sont des problèmes qui reviennent de façon régulière dans le traitement de l'information, c'est pour cela que la fiabilité de l'information et très souvent remise en cause. Et aussi l'incertitude est la forme d'imperfection la plus étudiée cela est lié au fait qu'elle peut être modélisée formellement



### 1.3.1 Définition

État de quelqu'un qui ne sait quel parti prendre [21], ou état plus ou moins préoccupant de quelqu'un qui est dans l'attente d'une chose incertaine : Être dans une profonde incertitude et incapable de se décider.

Avec une autre signification l'incertitude est un état où nous ne savons pas quel choix prendre.

### 1.3.2 L'incertitude dans les ontologies

L'approche probabiliste est un domaine qui essaie de trouver des mécanismes efficaces pour modéliser le raisonnement, tenant compte de l'incertitude de certaines connaissances. Dans ce domaine, les modèles graphiques probabilistes permettent de fournir un outil compact et expressif pour modéliser l'incertitude et la complexité. Ceux-ci joignent dans la même représentation la théorie des probabilités et la théorie des graphes [22].

### 1.3.3 Gestion de l'incertitude

En dépit de toutes les avancées réalisées dans le domaine du web sémantique, les problèmes liés à l'incertitude et l'ambiguïté des données restent des problèmes non négligeables dans la gestion des connaissances d'un domaine réel. Donc, l'incertitude est inévitable quand nous modélisons la plus part des domaines d'applications. Ainsi, par exemple dans la médecine, les symptômes sont subjectifs et par conséquent ils sont imprécis et incomparables. En plus, des concepts et des relations peuvent ne pas être décrites par la logique de description utilisée.

La problématique du traitement automatique de l'information est en pleine évolution. Mais cette automatisation est confrontée à de nombreux problèmes, en particulier, les imperfections liées à l'information véhiculée par les données textuelles. [24].

## 1.4 Ontologie probabiliste

Les ontologies cartographient les connaissances dans un domaine donné à travers des constructions bien définies donc pour décrire ces connaissances et l'incertitude associée à ces connaissances d'une manière logique et bien raisonnée, aussi structurée et qu'on peut partager dans un format qui peut être lu par un ordinateur on utilise les ontologies probabilistes, et ils font élargir les possibilités des ontologies standards.

### 1.4.1 Définition

Les ontologies probabilistes permettent de décrire les connaissances sur un domaine d'une manière raisonnée, structurée et partageable, idéalement dans un format qui peut être lu et traité par un ordinateur et d'intégrer l'incertitude à ces Intégration d'un réseau bayésien dans une

ontologie de connaissances.

Une représentation formelle et explicite des connaissances qui exprime des connaissances sur un domaine d'application [16].

L'ontologie probabiliste obtenue peut être utilisée par la suite dans des applications d'aide à la décision qui doivent être capable de raisonner avec des connaissances incertaines.

Une ontologie probabiliste comprend :

- Des régularités statistiques qui caractérisent le domaine
- Une définition pour des connaissances incomplètes, peu fiables, ambiguës et peu concluantes
- L'incertitude concernant les connaissances citées ci-haut

## 1.4.2 Les réseaux bayésiens standards

Un réseau bayésien est un modèle graphique probabiliste représentant un ensemble de variables aléatoires sous la forme d'un graphe orienté acyclique.

### 1.4.2.1 Inférence dans les réseaux bayésiens

L'inférence dans un réseau bayésien concerne le calcul de la probabilité de n'importe quelle variable ou sous ensemble de variables à partir des autres variables observées. Il s'agit donc de déterminer les probabilités conditionnelles d'événements reliés par des relations d'influences. Les algorithmes d'inférence dans les réseaux bayésiens se répartissent en deux groupes :

- Inférence exacte
- inférence approximative

### 1.4.3 Multi-Entity Bayesian Networks (MEBN)

Étend les réseaux bayésiens BN pour atteindre l'expressivité du premier ordre. Le MEBN représente le monde comme un ensemble d'entités interdépendantes, leurs attributs respectifs et les relations entre elles. La connaissance des attributs des entités et de leurs relations est représentée sous la forme d'un ensemble de motifs répétables, appelés fragments MEBN (MFrag). Un ensemble de MFrag bien définis qui satisfont collectivement à des contraintes logiques de premier ordre garantissant qu'une distribution de probabilités commune unique est un MEBN Théorie (MTheory) [16]. Pour être considéré comme une ontologie PR-OWL complète, un groupe de MFrag doit former une MTheory.

De manière générale, la classe MTheory représente un concept du monde, pour lequel l'ontologie va être construite. Un MTheory est un regroupement de MFrag qui correspond à des sous-classes ou des propriétés de classes destinées à acquérir de nouvelles connaissances. Un MFrag regroupe les variables aléatoires (Node) d'une classe sont représentées sous forme

de nœuds résidents (Resident node) et de contexte (Contexte Node) où le MTheory en est le réseau. Chaque nœud a des états qui lui sont propres appelé des entités (Entity); les nœuds sont définis par une table de distribution des probabilités conditionnelles (TPC) qui définit la connaissance a priori du modèle. Les MFrag calculent la probabilité jointe de chacune de ses variables aléatoires tant dis que PR-OWL utilise les informations encapsulées dans les Mfrags pour répondre aux requêtes probabilistes [33].

Et on a d'autres langages d'ontologie probabiliste comme BayesOWL et Dempster-Shafer Theory... mais le langage le plus important pour nous c'est PR-OWL car il nous donne le pouvoir de gérer les connaissances incertaines en utilisant les ontologies probabilistes. La figure 1.6 montre les principaux concepts impliqués dans la définition d'une MTheory dans PR-OWL.

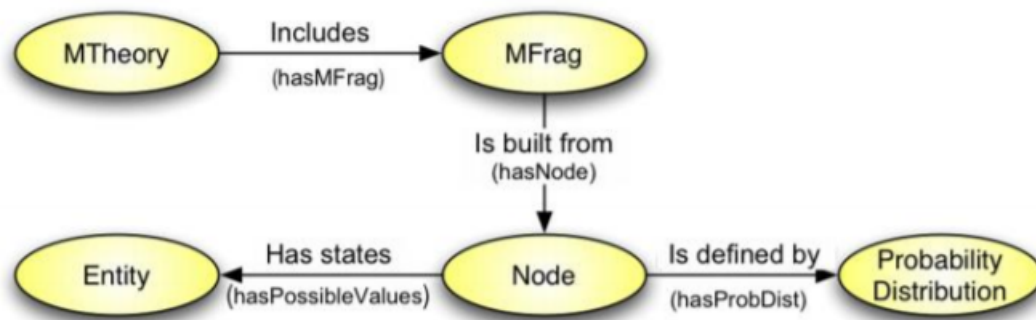


FIGURE 1.6 – Modèle simple PR-OWL [31]

#### 1.4.3.1 Fragments MEBN (MFrag)

Un MFrag est défini par un tuple  $F = (C, I, R, G, D)$  [34], le MFrag propose des types de nœuds différents, à savoir les nœuds de contexte  $C$ , les nœuds d'entrée  $I$ , les nœuds résidents  $R$ ,  $G$  représente un graphe et  $D$  un ensemble de distributions locales. Enrichis par la connaissance du domaine, les nœuds contextuels sont utilisés pour spécialiser la définition générale des phrases FOL dans un MFrag. D'un autre côté, les nœuds d'entrée sont responsables de toute information fournie au réseau afin de faciliter l'inférence.

Différentes sources d'informations telles que les lectures des capteurs peuvent être considérées comme les données fournies aux nœuds d'entrées. De plus, les nœuds résidents sont conditionnés par les valeurs fournies par le contexte et les nœuds d'entrées. De manière probabiliste, chacun de ces trois types de nœuds sont traités comme des variables aléatoires avec des distributions de probabilité prédéfinies déterminées par un expert du domaine. Il convient de noter que les ensembles  $C$ ,  $R$  et  $I$  sont disjoints par paire, et  $G$  est un graphe acyclique dirigé DAG dont les nœuds appartiennent à  $I \cup R$ , et les nœuds racine sont des membres de  $I$  seulement. Enfin, les

termes d'attribution de valeur de contexte en  $C$  sont utilisés pour appliquer les contraintes sous lesquelles les distributions locales s'appliquent.

### 1.4.3.2 Théories MEBN (MTheory)

Une collection de MFragments qui satisfait les contraintes de cohérence qui conduisent à l'existence d'une distribution de probabilité conjointe unique sur toutes les variables aléatoires de la collection est appelée MTheory [34].

Un MTheory se compose de deux types de MFragments, à savoir, MFragments intégrés qui représentent le contenu logique de base, et MFragments spécifiques de domaine qui sont déterminés par une connaissance externe. Il est prouvé par Laskey dans [34] que pour une Mtheory  $T = \{F1, F2, \dots\}$ , une distribution conjointe unique existe sur l'ensemble de ses variables aléatoires MFragments qui est cohérente avec la distribution locale assignée par les MFragments dans  $T$ .

## 1.5 L'ontologie probabiliste PR-OWL

PR-OWL est une extension d'OWL, compatible avec la version 2.0 d'OWL, Basé sur une logique Bayésienne de premier ordre appelée Réseau Bayésien à Entité multiple (MEBN, ang.), ayant la capacité de faire des raisonnements probabilistes basés sur les réseaux bayésiens avec entités multiples, PR-OWL fait donc une représentation formelle et explicite des connaissances du domaine étudié. Outre les différentes caractéristiques d'OWL, PR-OWL tient compte des régularités statistiques des champs et conclut sur de nouvelles formes de connaissance par inférence tout en tenant compte de l'incertitude autour de ces connaissances. [35].

Les définitions probabilistes de l'ontologie doivent former une théorie complète ou partielle valide.

PR-OWL basé sur MEBN, qui peut exprimer une distribution de probabilité sur des interprétations de toute théorie de premier ordre. En conséquence, rien ne garantit que le raisonnement avec l'ontologie PR-OWL sera efficace, voir décidable [17]. Pour les problèmes dans lesquels l'efficacité des calculs est une préoccupation, des classes bien connues de théories bayésiennes présentant des avantages en termes de calcul peuvent être représentées dans PR-OWL.

## 1.6 Les principales différences entre l'ontologie probabiliste PR-OWL et OWL

La différence entre l'ontologie probabiliste et l'ontologie classique est que l'ontologie classique ne peut pas représenter et raisonner sur l'incertitude car elle n'a pas cette capacité, c'est pour cela qu'il faut utiliser l'ontologie probabiliste, qui explique les connaissances sur un domaine d'application. Cette dernière comprend des régularités statistiques qui caractérisent le domaine, l'incertitude concernant les connaissances et une définition pour des connaissances

incomplètes, peu fiables, ambiguës et peu concluantes. Elle est même considérée nécessaire.

En résumé Les principales différences entre une ontologie probabiliste PR-OWL et OWL (classique) dans le tableau 1.1 suivant :

OWL	PR-OWL
Standardisé	Non standardisé
Langage déterministe	Langage probabiliste
Ne tient pas compte de l'incertain	Tient compte de l'incertain
Base logique	Réseau bayésien
Compatible : XML,RDF	Compatible : XML,RDF
Formalisme : Sujet, prédicat, objet	MTheory,MFrag

TABLE 1.1 – Principales différences entre OWL et PR-OWL

## 1.7 La méthodologie UMP-ST

L UMP-ST qui veut dire (le processus de modélisation d'incertitude pour les technologies sémantiques) se concentre sur l'évolution des versions précédentes d'un OP pour gérer un nouvel ensemble d'exigence et il est basé sur le processus unifié (UP) pour la conception d'une ontologie probabiliste, et il s'inspire aux processus d'ingénierie de l'ontologie. Car on dit que l est un processus itératif et incrémental.

Le processus de modélisation de l'incertitude pour les technologies sémantiques (UMP-ST) est une approche progressive et itérative pour modéliser les ontologies probabilistes un ensemble de disciplines. Carvalho définit le cycle probabiliste de modélisation ontologique (POMC) comme cycle de vie d'un projet composé de quatre disciplines pour gérer les processus de modélisation et de raisonnement de l'incertitude. Ces disciplines sont composées par Requirements, Analysis Design, Implementation, and Test [13]. UMP-ST La méthodologie est appuyée par UnBBayes.

Comme dans l'UP, toutes les disciplines de chaque itération de l'UMP-ST couvrent un ensemble d'exigences, la construction des versions livrables du modèle. L'idée derrière chaque itération est de tirer parti de ce qui a été appris pendant la modélisation de versions antérieures. Il vient de découvrir de nouvelles exigences, règles, entités, et relations des versions précédentes.

Le processus d'interaction couvert par l'UMP-ST est décrit dans ( Probabilistic Ontology Modeling Cycle) (POMC), illustré à la figure 1.7 Ce cycle définit les principaux extraits de chaque discipline et l'ordre naturel dans lequel les extraits sont produits. Bien qu'il existe un ordre de modélisation, il n'est pas nécessaire de se produire d'une manière rigide et séquentielle

comme le modèle de cascade. Les interactions entre les disciplines ne sont pas limitées aux flèches présentées.

Pour montrer les avantages de développer des ontologies probabilistes en utilisant l'approche itérative de l'UMP-ST. On applique cette méthodologie quand il y a un problème qui nécessite le développement de l'ontologie probabiliste, et pour cela le langage ontologique PR-OWL a été choisi pour la résolution et le traitement de l'incertitude.

La figure 1.7 montre une vision générale des différentes étapes du processus de la méthodologie

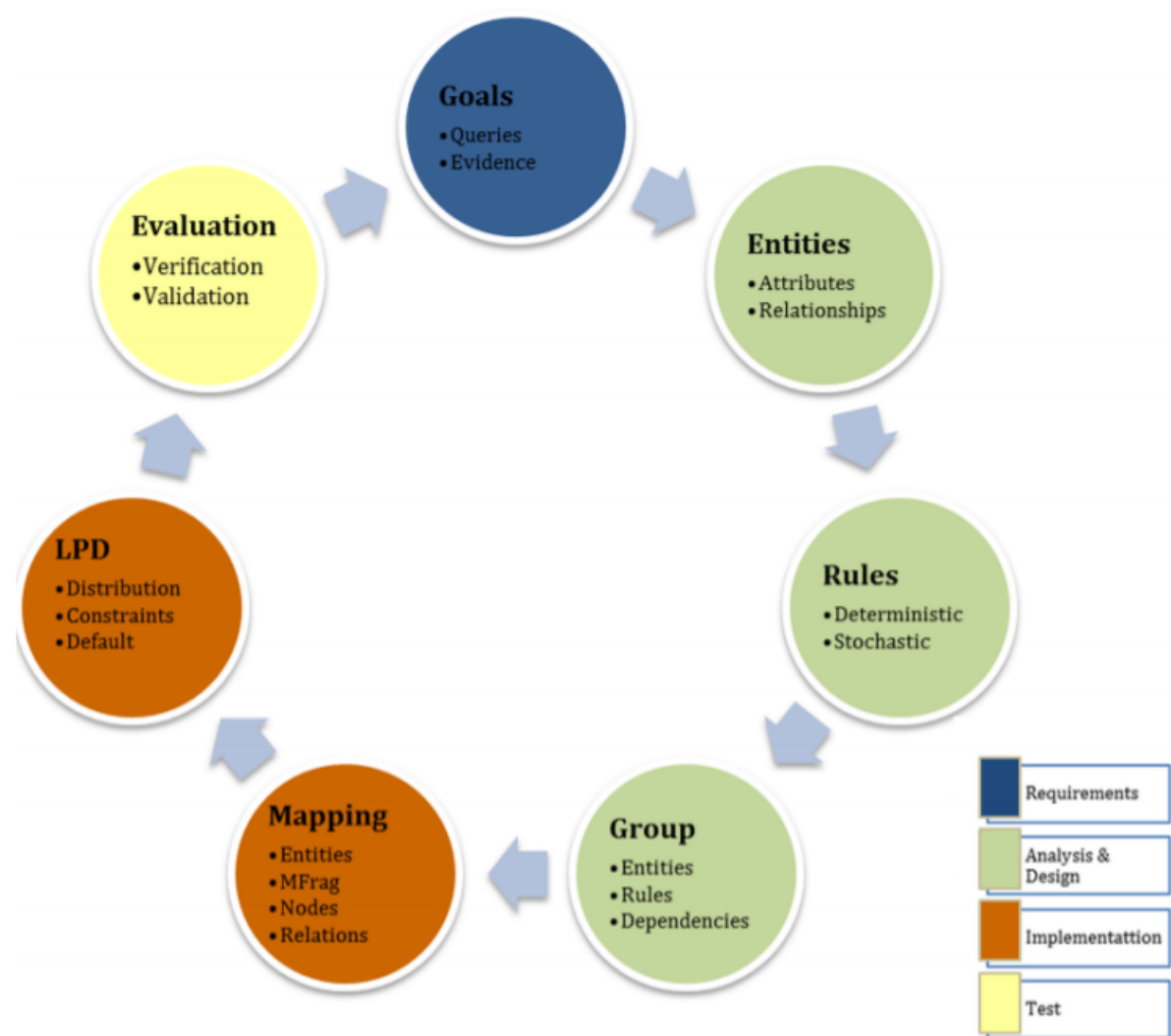


FIGURE 1.7 – Cycle de modélisation de l'ontologie probabiliste (UMP-ST) [13]

1. **La discipline Exigences (The Requirements discipline) :** Définit les objectifs qui doivent être atteints par raisonnement dans PO. Pour chaque objectif, il est nécessaire de définir

des requêtes qui sauront répondre à l'aide de preuves.

2. **La discipline Analyse et Conception (Analysis Design discipline) :** Définit les classes d'entités, leurs attributs, leurs relations et leurs règles. Il sera groupé pour isoler les caractéristiques du domaine et de faciliter la visualisation des dépendances qui guideront la mise en œuvre du modèle d'OREN à l'étape suivante.
3. **La discipline de mise en œuvre (the Implementation discipline) :** Les entités, les relations, les attributs, les règles et les groupes seront mappés à leurs concepts correspondants dans un formalisme spécifique qui permet une représentation de l'incertitude. Dans notre étude de cas, la cartographie au format PR-OWL 2.
4. **La discipline Test (Test discipline) :** l'utilisateur validera et vérifiera le modèle dans lequel il est observé si l'ontologie résultante a un comportement attendu et si toutes les exigences ont été mises en œuvre.

## 1.8 Conclusion

Nous avons présenté dans ce premier chapitre les deux types d'ontologies (classiques et probabilistes), ainsi que leurs importances, ceci nous a permis de connaître leurs définitions, leurs différents composants et leurs différents langages, aussi nous avons traité la nécessité de la notion d'incertitude dans les ontologies classiques d'où la création des ontologies probabilistes pour résoudre ce problème.

Dans le chapitre suivant nous allons intégrer l'internet des objets et l'internet des objets médicaux ainsi que quelques travaux connexes qui utilisent les ontologies.





## *Chapitre 2*

---

# **L'internet des objets et l'internet des objets médicaux**

---

## **2.1 Introduction**

Outre, les services classiques, des objets/dispositifs de la vie quotidienne ont été connectés à l'internet pour interagir à distance avec leurs utilisateurs et même avec d'autres objets/dispositifs sans intervention humaine. Ces dispositifs, appelés "objets", font partie d'une définition plus complexe connue sous le nom d'internet des objets (IOT).

Les ontologies sont devenues un moyen indispensable pour représenter et exploiter les données et les connaissances d'un domaine, Il existe plusieurs ontologies, nous avons choisi l'ontologie HealthIot pour notre projet.

Dans ce chapitre nous allons définir la notion d'internet des objets et les objets médicaux, nous allons citer quelques travaux connexes au domaine IOMT, à la fin, nous expliquerons l'ontologie healthIot sur laquelle nous allons travailler.

## **2.2 Internet des objets IOT**

Comme toute révolution technologique, la transformation numérique affecte de nombreux domaines de l'économie. L'une des tendances qui en a émergé est l'Internet des Objets. Derrière ce buzzword se cachent des objets dits connectés, c'est-à-dire disposant de capteurs et capables d'échanger des informations à courte ou longue distance (via Internet) avec des êtres humains ou simplement entre eux. Une déferlante d'objets de toutes sortes touche aujourd'hui les sphères personnelles comme professionnelles. On les retrouve dans des secteurs aussi variés que la domotique (ampoules, thermostats, télévisions, enceintes...), la sécurité physique (caméras de surveillance, serrures, détecteurs de fumée, porte-clés...), la mobilité sous diverses formes (capteurs de vélo, voitures, poussettes, montres, lunettes...), ou encore le bien-être (thermomètres,

fourchettes, tensiomètres, capteurs cardiaques...).

## 2.2.1 Définition

«L'Internet des Objets est un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électronique normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant.» [11]

L'internet des objets désigne les échanges d'informations et de données numériques entre les objets présents dans le monde réel et le réseau Internet. Aussi appelé "IdO" (ou "IOT" pour "Internet of Things" en anglais), il collecte les données des utilisateurs pour interagir entre les objets connectés généralement en wi-fi ou en bluetooth ou bien RFID (NFC). Par exemple, c'est en utilisant des protocoles de communication dédiés que nos smartphones peuvent interagir à distance avec des thermostats connectés.

## 2.2.2 Les différents systèmes de l'IOT

Il est important de comprendre que l'IOT ne fait pas référence à une seule technologie. C'est un concept englobant plusieurs techniques en même temps. Il faut donc penser à plusieurs systèmes à la fois quand on parle de cette notion.

Voici la liste des différents systèmes impliqués dans l'IOT :

- **Identification** : Authentification de chaque objet et récolte des informations qu'il a emmagasinées.
- **Capteur** : Collecte de données dans le but d'améliorer les capacités de l'appareil. Connexion entre les différents systèmes.
- **Intégration** : Intégration de système pour une diffusion interne des données.
- **Traitement d'informations** : Accumulation de données et leur analyse dans le but de prendre une décision ou entreprendre un projet spécifique.
- **Réseau** : Émission de données en ligne et dans le monde réel.

Cette notion d'internet des objets peut être expliquée grâce au concept de « Service oriented Architecture » décomposé en quatre couches différentes appelées layer. Nous vous l'expliquons à l'aide du tableau 2.1 ci-dessous.

Sensin	Networking	Service	Interface
Les «Hardwares» physiques comme les capteurs intelligents	Connecte les équipements entre eux	Les technologies du «middle-ware» qui permet de faire communiquer entre eux «Hardwares» et «software»	Les plateformes qui présentent les applications aux utilisateurs finaux

TABLE 2.1 – Couches de concept de « service oriented architecture »

## 2.3 Internet des objets médicaux IOMT

Les industries de la santé et des technologies modernes [7] ont acquis des intentions cruciales dans la vie quotidienne, y compris les systèmes de soins de santé (Healthcare) [18]. L'objectif principal de l'intégration de la technologie aux systèmes de soins de santé est de fournir une meilleure capacité d'interface entre les patients et les soignants afin d'améliorer l'efficacité et l'accessibilité des dispositifs et services médicaux [26].

Récemment, l'Internet des objets médicaux (IOMT) a joué un rôle essentiel dans la surveillance à distance des soins de santé (remote healthcare monitoring (RHM)) [49]. L'IOMT est principalement utilisé pour collecter les données à distance du patient au moyen de capteurs/dispositifs portables [51] et les stocker dans les bases de données Cloud.

### 2.3.1 Définition

En particulier dans le domaine de la santé, l'IoT a reçu une définition spéciale. Manogaran [38] ont défini l'Internet des objets médicaux (IOMT) (également connu sous le nom healthcare IOT) comme l'infrastructure mondiale composée de dispositifs médicaux et d'applications interconnectés par Internet, où la température, le dioxyde de carbone, l'ECG/EEG/EMG, la pression, gyroscope, saturation en oxygène du sang, humidité, respiration et capteurs de pression artérielle permettent d'observer et de surveiller la santé des patients de manière continue. Par conséquent, les fournisseurs de soins de santé peuvent offrir des services plus précis et améliorer la qualité de vie des patients. Cependant, leur intégration dans un environnement interopérable a été défiée.

L'IOMT comporte trois étapes principales :

Couche de dispositifs en anglais Device layer (body sensor network (BSN) (réseau de capteurs corporels)

couche de brouillard en anglais Fog layer et service de nuages en anglais Cloud service [37], comme le montre la figure 2.1

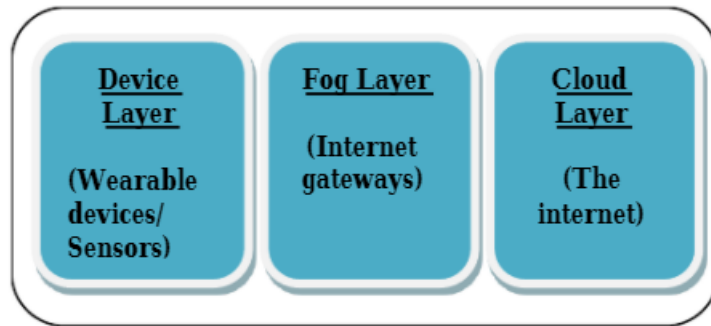


FIGURE 2.1 – L'architecture de l'IOMT

## 2.3.2 Les modèles de communication

D'un point de vue opérationnel, il est utile de réfléchir comment les appareils IOT se connectent et communiquent en termes de leurs modèles de communication technique. En mars 2015, l'Internet Architecture Board (IAB) a publié un document architectural d'orientation pour la mise en réseau d'objets intelligents (RFC 7452) [52] présente un cadre de quatre modèles de communication communs utilisé par les appareils IOT. La discussion ci-dessous présente le cadre et explique les caractéristiques clés de chaque modèle dans le cadre.

### 2.3.2.1 Machine-to-machine communication

La communication machine à machine, appelée M2M, est la technologie par laquelle deux machines peuvent communiquer et échanger des données, sans intervention manuelle ni interaction humaine. Il consiste en une connexion série, une connexion CPL ou des communications sans fil dans l'Internet des objets industriel (IOT)

La communication M2M entre les appareils connectés fonctionne grâce à des capteurs. Les capteurs détectent les données et les transfèrent sur un réseau. Le M2M utilise des technologies telles que l'Ethernet pour être plus rentable. Les principaux composants du M2M sont le Wi-Fi, les capteurs, la RFID, un logiciel informatique automatique et un lien de communication.

Enfin, tout cela permet d'établir un réseau capable de transférer des données et de prendre des décisions.

La technologie machine-à-machine est utilisée pour un large éventail d'applications, de la surveillance et du contrôle des machines à l'indexation des sites web par les moteurs de recherche.

### 2.3.2.2 Device-To-Cloud Communication

Dans un modèle de communication de type " device-to-cloud ", l'appareil se connecte directement à un service Internet en nuage (cloud), comme un service d'application pour échanger des données et contrôler le trafic des messages.

Cette approche tire souvent parti des mécanismes de communication tels que les connexions Ethernet filaires ou Wi-Fi pour établir une connexion entre le dispositif et le réseau IP qui se

connecte au service cloud.

La connectivité cloud permet à l'utilisateur (et à une application) d'obtenir un accès à distance à un appareil. Elle permet aussi potentiellement de pousser des mises à jour logicielles vers l'appareil.

### **2.3.2.3 Device-To-Gateway communication**

Dans le modèle Device-to-Gateway, les dispositifs IoT se connectent essentiellement à un dispositif intermédiaire pour accéder à un service cloud. Ce modèle implique souvent un logiciel d'application fonctionnant sur un dispositif de passerelle local (comme un smartphone ou un "hub") qui sert d'intermédiaire entre un dispositif IoT et un service cloud.

Dans de nombreux cas, le dispositif de passerelle locale est un smartphone qui exécute une application pour communiquer avec un dispositif et relayer les données à un service cloud.

Ces appareils n'ont pas la capacité native de se connecter directement à un service cloud, ils s'appuient donc fréquemment sur une application pour smartphone qui sert de passerelle intermédiaire pour connecter l'appareil au service cloud.

### **2.3.2.4 Back-End Data-Sharing communication**

Le BackEnd Data sharing étend essentiellement le modèle de communication device-to-cloud, de sorte que les appareils IOT et les données des capteurs puissent être accessibles à des tiers autorisés. Dans le cadre de ce modèle, les utilisateurs peuvent exporter et analyser des données d'objets intelligents à partir d'un service en nuage en combinaison avec des données provenant d'autres sources, et les envoyer à d'autres services pour les agréger et les analyser.

## **2.4 Travaux connexes**

Cette section présente une analyse documentaire des architectures pour les plateformes IOMT et des études relatives à l'intégration sémantique des données de santé et des connaissances cliniques dans l'IOMT.

### **2.4.1 Semantic Sensor Network SSN**

L'ontologie Semantic Sensor Network (SSN) est une ontologie permettant de décrire les capteurs et leurs observations [42], les procédures impliquées, les caractéristiques d'intérêt étudiées, les échantillons utilisés pour ce faire et les propriétés observées, ainsi que les actionneurs. Le SSN suit une architecture de modularisation horizontale et verticale en incluant une ontologie de base légère mais autonome appelée SOSA (Sensor, Observation, Sample, and Actuator) pour ses classes et propriétés élémentaires. Avec leur portée différente et leurs différents degrés d'axiomatisation, le SSN et SOSA sont capables de prendre en charge un large éventail d'applications

et de cas d'utilisation, notamment l'imagerie satellitaire, la surveillance scientifique à grande échelle, les infrastructures industrielles et domestiques, la détection sociale, la science citoyenne, l'ingénierie ontologique axée sur l'observation et le Web des objets. Les deux ontologies sont décrites ci-dessous, et des exemples de leur utilisation sont donnés.

#### **2.4.1.1 SenML (Sensor Measurement Lists)**

Les listes de mesures de capteurs (senML) définissent des types de médias pour représenter les mesures de capteurs simples et les paramètres de dispositifs. [10] Les représentations sont fournies en notation d'objets JavaScript (JSON) et en langage de balisage extensible (XML), qui partagent le modèle de données commun senML. Amrutur et al. ont proposé son extension en utilisant des annotations sémantiques sur les données des capteurs pour décrire le processus de collecte des données, la signification d'une valeur collectée et la plate-forme utilisée.

Ahlem et al. [47] ont proposé Système de surveillance du diabète gestationnel pour les femmes enceintes basé sur l'ontologie HealthIoT, et Définir une représentation sémantique des objets médicaux avec leurs données et leurs contextes pour résoudre le problème de l'hétérogénéité sémantique, et pour faciliter le diagnostic de l'état de santé des femmes enceintes sur la base du modèle sémantique en prenant en compte une myriade de contextes tels que, l'âge, les symptômes, l'hypertension. Faciliter l'interaction entre les médecins et les utilisateurs par le développement d'un système de suivi des patients basé sur la sémantique. Le médecin est en mesure de surveiller un groupe des patients en analysant leurs mesures dans un contexte donné ; il peut consulter à distance le rapport de diagnostic proposé par ce système et apporter un changement si nécessaire. les médecins peuvent communiquer et envoyer le diagnostic et les résultats appropriés aux patients grâce au déclenchement d'alarmes.

Rahmani et al. [46] Ont proposé un système de surveillance de la santé basé sur l'IOT composé des couches suivantes : Les dispositifs intelligents, qui comprennent les réseaux de capteurs et les dispositifs IOMT ; Edge/Fog, qui contient les passerelles, dont la fonction principale est de transmettre les données de santé au Cloud et de fournir des services pour la découverte et le contrôle des dispositifs IOMT ; et Cloud, où les données sont traitées, stockées et consommées par les applications. Dans cette étude, la passerelle joue le rôle clé d'activer les services de brouillard (Fog services) pour le prétraitement et le stockage des données locales, améliorant ainsi les problèmes de mobilité et d'accessibilité. Cependant, les protocoles de communication, le format de données utilisé et l'intégration avec les applications externes ne sont pas clairs.

Gomez et al. [27] ont conçu une plateforme basée sur l'ontologie pour le suivi de la santé des patients atteints de maladies chroniques. À la différence du schéma précédent, la plate-forme utilise un smartphone comme passerelle pour intégrer les dispositifs IOMT et définit des classes

ontologiques pour représenter les plates-formes IOMT. Cependant, la définition ne tient pas compte de l'existence d'ontologies qui ont déjà couvert ce sujet, ce qui favorise l'hétérogénéité des définitions et augmente la complexité de l'intégration avec les plateformes IOT/IOMT existantes.

Datta et al. [41] ont examiné le problème de la compatibilité des capteurs en utilisant la passerelle M2M définie par l'ETSI et le problème de la représentation des données en mettant en œuvre la norme senML proposée par Jennings et al. [23] Selon senML, la passerelle reçoit les données détectées dans un format personnalisé du capteur et les transcode en suivant la spécification senML. Cependant, les données codées en senML sont envoyées aux couches supérieures, et d'autres aspects qui affectent l'interopérabilité sont désagrégés. Par exemple, différentes unités de mesure peuvent être associées au même type d'observation et, par conséquent, les capteurs peuvent traiter les données dans différentes unités (c'est-à-dire que la distance peut être mesurée en mètres, kilomètres, miles, etc.). Étant donné que senML ne définit qu'une seule unité de mesure par type d'observation (c'est-à-dire que les mètres sont utilisés pour la représentation de la distance), un mécanisme de conversion est nécessaire. De plus, les taux d'échantillonnage, la méthode d'observation ou la précision numérique, dans des scénarios impliquant plus d'une plate-forme, peuvent conduire à une interprétation erronée des données. Les auteurs n'ont pas abordé la question de l'interopérabilité sémantique.

Pereira et al. [44] ont proposé une plateforme M2M qui garantit l'interopérabilité sémantique et un format commun d'échange de données. Les auteurs ont considéré des dispositifs M2M pour la capture des données et un smartphone comme une passerelle M2M qui utilise le format de message HL7 dans la communication avec un stockage d'EHR basé sur openEHR. Bien que la plateforme mette en œuvre des services HL7 pour l'échange de données entre les systèmes de santé, elle n'aborde pas les problèmes d'interopérabilité au niveau des capteurs et ne prend pas en compte les scénarios IOT/IOMT avec un grand nombre de capteurs hétérogènes. Aucun outil n'a été développé pour l'échange de données avec des applications externes, ce qui est un aspect essentiel pour l'application de techniques d'extraction de connaissances ou de traitement de données volumineuses.

Antonić et al. [9] ont proposé un intergiciel Publish-Subscribe basé sur le cloud (CUPUS) utilisant un smartphone comme passerelle pour connecter les dispositifs IOMT avec un moteur Publish-Subscribe basé sur le cloud. Les données contenues dans les messages ne sont pas soumises à des contraintes sémantiques et les propositions qui utilisent ces protocoles peuvent être incompatibles en raison d'incongruités dans le format des données et la signification des champs dans les messages.

L'environnement de la maison intelligente a un grand potentiel et peut fournir des services de

suivi à long terme aux utilisateurs ayant des besoins spécifiques pour promouvoir la possibilité de vieillissement. Ces environnements sont généralement équipés de nombreux capteurs hétérogènes qui surveillent les paramètres sanitaires et environnementaux.

alirezale et al [6]. On a proposé un système basé sur une ontologie appelé " e-care@home", qui est capable d'effectuer une reconnaissance de contexte basée sur les activités et les événements qui se produisent dans la maison. L'infrastructure IOT E-care@home se compose de trois parties différentes :

1. la base de données E-care@home
2. les dispositifs IoT
3. les logiciels et les protocoles

Villanueva-Miranda et al. [53] ont souligné que l'utilisation d'ontologies peut améliorer de manière significative l'interopérabilité sémantique dans un environnement comportant plusieurs plates-formes IoMT. Les auteurs ont analysé deux approches principales, à savoir "One-to-One Ontology Alignment" (alignement dynamique des ontologies sur le même domaine) et "Central Ontology" (ontologie prédéfinie résultant de la fusion d'ontologies liées au domaine), et ont conclu que la première était meilleure pour l'interprétation et l'évolutivité.

L'ontologie ETSI Smart Applications Reference (SAREF) est une norme industrielle extensible. La modélisation conceptuelle pilotée par l'ontologie a été appliquée pour développer SAREF4health [40], dans lequel une ontologie ECG fondée sur l'Ontologie Fondamentale Unifiée (UFO), qui joue le rôle de modèle de référence. La méthodologie a été améliorée en suivant une procédure de normalisation et en considérant l'implémentation RDF de la norme HL7 Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR). La validation de SAREF4health comprend les réponses aux questions de compétences, ainsi que le développement et les tests d'un prototype de système d'alerte précoce IoT qui utilise les données ECG et l'identification.

Des collisions pour détecter les accidents des conducteurs de camions dans une zone portuaire. Ce prototype intègre un portable ECG existant avec une infrastructure cloud, démontrant l'impact de performance de SAREF4health en tenant compte des contraintes IOT. Nos résultats montrent que SAREF4health permet l'interopérabilité sémantique des solutions IOT qui doivent traiter des séries temporelles basées sur la fréquence.

El-Sappagh et al. [25] ont fait un système basé sur le cloud surveille et gère le diabète sucré de type 1. L'efficacité de tout CDSS dépend principalement de la qualité de ses connaissances et de son interopérabilité sémantique avec différentes sources de données. À cette fin, cet article se concentre sur la construction d'un CDSS sémantique basé sur l'ontologie FASTO proposée. Cette ontologie réaliste est capable de collecter, formaliser, intégrer, analyser et manipuler tous les types de données relatives aux patients. Elle fournit aux patients des plans de soins complets,



personnalisés et médicalement intuitifs, comprenant des régimes d'insuline, des régimes alimentaires, des exercices et des sous-plans d'éducation.

Rubí et Gondim. [48] ont développé une plateforme IOMT interopérable par l'alignement entre l'ontologie SSN et le EHR (electronic Health Record). Cette plateforme est basée sur l'architecture M2M qui permet la communication entre les différents composants de la plateforme IOT.

References	Dispositifs	Utilisation d'ontologies	Gestion d'incertitude	Objectifs
Gomez et al [27]	capteurs, smart-phone	SSN	NON	une plateforme basée sur l'ontologie pour le suivi de la santé des patients atteints de maladies chroniques
Rahmani et al [46]	capteurs (rythme cardiaque, pression sanguine)	SSN/IOT-LITE/IOT-O	NON	un système de surveillance de la santé basé sur l'IOT pour la suivre des diabetiques gestational
El-Sappagh et al [25]	capteurs corporels portables	SSN,BFO	NON	un système basé sur le cloud surveille et gère le diabète sucré de type 1
Datta et al [41]	capteurs, transcode	SSN	NON	Système de gestion de la santé des patients utilisant une architecture de surveillance de la santé en ligne
Pereira et al [44]	capteurs,Service HL7	NON	NON	une plateforme M2M qui garantit l'interopérabilité sémantique et un format commun d'échange de données entre les systèmes de santé
Rubí et Gondim [48]	capteurs	SSN,EHR	NON	une plateforme de surveillance a distance des patients
Moreira et al [40]	capteurs d'electrocardiogramme	SSN /SOSA /UFO /ECG	NON	SAREF4health : Vers des systèmes d'e-santé cardiaque fondés sur les normes de l'IOT et guidés par l'ontologie.
alirezale et al [6]	capteurs domestiques (mouvement, pression...	SSN	NON	un system de reconnaissance des activites des patients
Ahlem et al [47]	capteurs,déclencheur d'alarmes	Health-IOT	NON	Système de surveillance du diabète gestationnel pour les femmes enceintes

TABLE 2.2 – Résumé des travaux connexes

## 2.5 Discussion

Comme le montre le tableau 2.2, de nombreuses études ont adopté des formats de données personnalisés pour l'échange de données entre les capteurs et les plateformes, ce qui a entraîné des problèmes d'interopérabilité, car l'absence de normalisation entrave le développement de capteurs spécifiquement axés sur la plateforme cible. Nous avons considéré senML comme une norme mature, et les études liées à l'IOT menées par Su et al. Datta et Bonnet [19] et Datta et al [20] valident sa pertinence pour la normalisation de sources de données hétérogènes

En ce qui concerne l'utilisation des EHR pour la représentation et le stockage des dossiers cliniques, certaines propositions [46], [53] ont mis en œuvre leurs systèmes de stockage sur la base des EHR. Toutefois, elles n'abordent pas la simplification de l'échange de données cliniques entre les établissements de santé grâce à l'utilisation de EHR normalisés.

En termes d'utilisation des ontologies, Datta et al. [41], Villanueva-Miranda et al. [53], et Gomez et al. [27] ont montré un enrichissement du domaine d'application de l'IOMT. Selon les auteurs, les ontologies permettent à la fois l'application de techniques de raisonnement informatique, qui produisent des résultats prédictifs utilisés comme aide à la prise de décision, et la représentation normalisée des données dans des formats compréhensibles par les humains et les programmes informatiques. Cette caractéristique est essentielle lorsque l'on envisage l'interopérabilité de l'IOMT.

Toutefois, l'intégration de ces normes a pu résoudre certains problèmes. Par exemple, openEHR couvre les concepts liés aux mesures, aux observations et aux connaissances du domaine des soins de santé, et SSN est l'une des ontologies les plus utilisées pour la couverture des caractéristiques spécifiques au contexte IOT.

La plupart de ces approches tirent partie de la réutilisation des ontologies existantes au lieu d'en créer de nouvelles à partir de zéro. Le SSN est l'une des ontologies les plus référencées dans ces approches, car elle constitue un élément central de tout système basé sur l'IOT.

En outre, les principaux contextes de modélisation dans ces travaux sont le temps et l'emplacement, et peu d'importance est accordée aux contextes d'interconnectivité, d'exigence et de trajectoire.

En ce qui concerne la phase de raisonnement, aucune de ces approches ne s'est intéressée à la gestion de l'état de l'objet employé, telle que vérifier sa disponibilité, sa connectivité et l'allocation des tâches.

Aucun des travaux susmentionnés n'a proposé une ontologie qui couvre les concepts essentiels dans les domaines de l'IOT et des soins de santé. La majorité des approches proposées dans le domaine des soins de santé ignoraient la réutilisation des modèles IOT déjà définis. En d'autres

termes, elles ont limité la description des sources de données de santé à un seul concept de capteur. la description des sources de données de santé à un seul concept de capteur.

## 2.6 L'ontologie Health-Iot

Pour représenter les connaissances, on va utiliser une ontologie Health-Iot, cette ontologie permet de représenter de manière claire et complète l'harmonisation entre les connaissances IOT dans le domaine médical, et pour raisonner de façon probabiliste sur des connaissances incertaines on va utiliser PR-OWL pour représenter notre ontologie probabiliste qui est basée sur la logique bayésienne du premier ordre appelée Multi-Entity Bayesian Networks (MEBN)

La figure2.2 ci-dessous représente les classes et les propriétés de l'ontologie Health-Iot

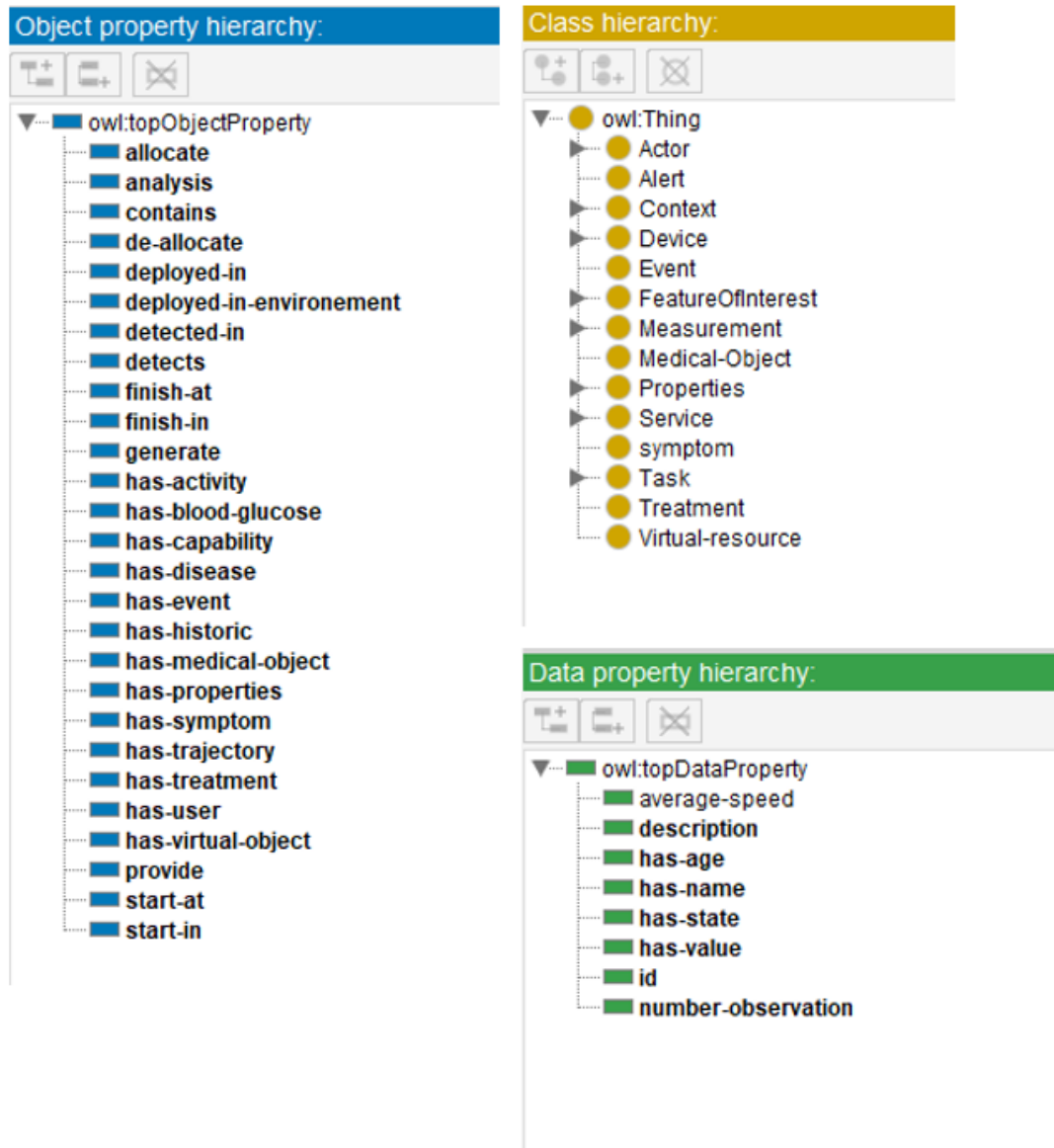


FIGURE 2.2 – Class, Object, Property de l’Ontologie health-Iot

La figure 2.3 montre la hiérarchie de l’ontologie HealthIot :

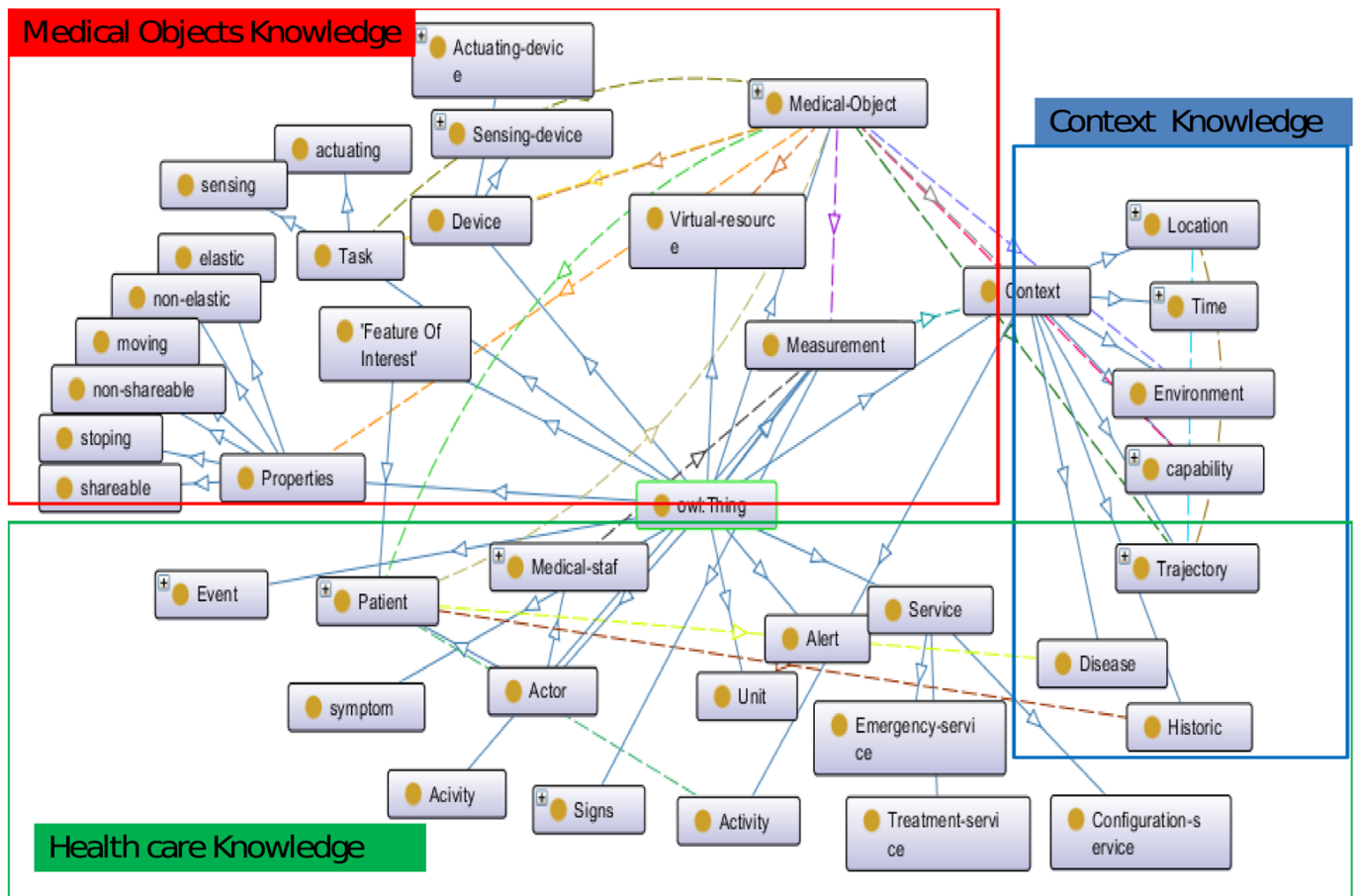


FIGURE 2.3 – la hiérarchie de l'ontologie HealthIoT [47]

Les principaux concepts de cette ontologie sont classés en trois catégories : les concepts qui représentent la connaissance du MCO, la connaissance des états des patients et celle de leurs contextes. sur les états des patients et celle sur leurs contextes.

### 2.6.0.1 MCO knowledge

Cette étape est conçue pour modéliser les MCOs hétérogènes et leurs spécificités. Les principaux concepts définis sont les suivants [47]

- **HIoT :Medical-object** : représente la sémantique des MCOs hétérogènes utilisés pour la surveillance à distance des patients. Par exemple, le dispositif de surveillance de la glycémie, le dispositif de surveillance de la pression artérielle, le smartphone...
- **HIoT :virtual-resource** : est proposé pour définir l'un des principaux objectifs de l'IOT, à savoir la virtualisation des objets du monde réel afin d'en faciliter la gestion et la configuration.
- **ssn :Device** : est un concept étendu de l'ontologie SSN et possède deux sous-classes : **ssn :Sensing-device** et **iot-lite :actuating-device**. La première représente les capteurs

médicaux et les étiquettes RFID qui sont responsables de la détection de l'événement qui se produit et la seconde décrit les actionneurs qui agissent sur l'environnement. Les capteurs utilisés pour la surveillance du diabète gestationnel, tels que le capteur de glycémie, le capteur de pression artérielle, etc., sont présentés comme des instances du concept de dispositif de détection. Le vibreur, l'écran, l'alarme représentent les instances du concept de dispositif d'actionnement.

- **HIoT :propriétés** : représente les propriétés des objets connectés utilisés. Ainsi, nous étendons certaines propriétés des ressources en cloud qui sont satisfaites par les ressources IOT, telles que partageable/non partageable, élastique/non élastique, limité et non limité. Les autres propriétés que nous pouvons prendre en compte dans l'IOT sont "moving" et "stop". Ces propriétés sont modélisées comme des sous-classes du concept "HIoT :IoT-properties".
- **HIoT :Task** : il permet de décrire la tâche attribuée par les objets connectés et les dispositifs embarqués (par exemple, détecter le taux de glycémie, déclencher des alertes de traitement).

### 2.6.0.2 Patient knowledge

- **HIoT :Measurement** : est conçu pour représenter la sémantique de la quantité massive de données de santé obtenues auprès des MCO. [47] Elle comporte deux sous-classes **HIoT :signs** et **HIoT :Activity**. Le **HIoT :signs** définit les signes vitaux détectés du patient tels que la glycémie, la pression sanguine, le rythme cardiaque, etc. qui sont modélisés comme des sous-classes de ce concept. **HIoT :Alert** contient différentes catégories d'alertes qui peuvent être générées par le dispositif d'actionnement. Ces alertes peuvent être destinées à la gestion des objets ou à la surveillance du patient (ajustement du traitement, appel d'urgence pour une ambulance).
- **HIoT :Event** : représente un événement anormal détecté par le MCO. Il fait référence à l'événement de santé tel que l'hyperglycémie, l'hypertension, etc.
- **HIoT :Risque** : représente les complications sanitaires d'une maladie non contrôlée qui peuvent survenir.
- **HIoT :Actor** : détermine les principaux acteurs du domaine de la santé, tels que HIoT :Patient, HIoT :medical-staff.
- **HIoT :Service** : décrit les différents services qui peuvent être générés par les MCOs. Ces services peuvent être classés en plusieurs catégories telles que les services de traitement (**HIoT :treatment**), les services d'urgence lorsque l'état du patient est critique (**HIoT : emergencyservice**) et les services de configuration qui contiennent l'état des objets connectés et la solution proposée.
- **HIoT :Symptom** : définit les changements de comportement et les sensations du patient face à la maladie.

### 2.6.0.3 Context knowledge

HIoT : Context caractérise le MCO et les données obtenues sur le patient suivi. En fait, l'état du MCO et la santé du patient changent constamment en fonction de nombreux facteurs. Il est essentiel de prendre en compte ces facteurs dans la configuration de l'état du MCO et le diagnostic de l'état du patient afin de proposer des services précis et appropriés. [47]

#### 1. Context related to the medical objects deployment :

- **To :Time** : décrit le temps d'emploi des MCO et la validité temporelle de leur flux de données capturées. [47] Elle possède plusieurs sous-classes étendues de l'ontologie du temps comme par exemple **To :duration**, **To :instant**, **To :interval**.
- **goe :Location** : décrit l'environnement des objets employés. Ce concept comporte deux sous-classes, dont l'**Indoor-Location** et **Outdoor-Location** afin d'exprimer le fonctionnement des objets connectés à grande échelle.
- **Moo :Trajectoire** : étendue de l'ontologie MOO [54]. Elle permet de représenter les caractéristiques de mouvement des objets connectés. La trajectoire fait référence à une liste de lieux par lesquels l'objet passe dans une période de temps prédéterminée. Ce concept est lié au concept du Location avec les attributs d'objet "has-source" et "has-destination", et au concept de temps avec les attributs "starts" et "ends".
- **HIoT :Capability** : Elle représente le contexte du réseau, le contexte des ressources et le contexte des capacités de détection et d'actionnement (par exemple, capacité énergétique, capacité de mémoire, capacité de cycle de vie). **HIoT :Capability** possède plusieurs sous-classes **HIoT :Sensing-Capability**, **san :Actuating-Capability**, **HIoT : Tags-capability**, **HIoT :network**, et **HIoT :MO-Capability**.
- **HIoT :Environment** : qui détermine différents facteurs (humidité, température, etc.) pouvant influencer l'état des objets connectés et la validité de la mesure détectée.

#### 2. Context related to the monitored patient :

- **HIoT :Disease** : dans le domaine des soins de santé, il est intrinsèque de prendre en compte plusieurs contextes comme la maladie du patient. [47] Par exemple, la valeur de la température.
- **HIoT :Historique** : représente les informations médicales sur les patients telles que leurs maladies, leurs causes, leurs symptômes, les traitements historiques, etc. Ce site connaissances aident à fournir un diagnostic correct.
- **HIoT :Patient** : est un contexte primordial dans le domaine de la santé. Il s'agit d'une sous-classe du concept **ssn :FeatureofInteraset**, qui fait référence à l'élément observé et contrôlé. et contrôlé. Ce concept définit des informations personnelles telles que l'âge, le sexe, le poids, etc. qui jouent un rôle primordial lors de la phase de diagnostic. de diagnostic.

- **HIoT :Activité** : définit l'activité du patient (par exemple, dormir, courir, marcher), qui est détectée par des capteurs spécifiques tels que des caméras, des accéléromètres pendant le suivi des mesures de santé.

## 2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu la définition d'internet des objets et leurs utilisation dans le domaine médical, après Les travaux qui ont été effectués a l'aide des ontologies classiques comme SSN et EHR et nous avons analysé ces travaux pour conclure les problèmes de ce type d'ontologies et l'utilité de travailler avec les ontologies probabilistes.

Dans le chapitre suivant nous allons faire la conception de notre système ainsi que notre choix d'étude de cas.



## Chapitre 3

---

# Analyse et Conception

---

### 3.1 Introduction

La prédiction des maladies peut aider à prendre des décisions sur les changements de style de vie chez les patients à haut risque, et ainsi réduire les complications, pour cela nous allons modéliser une ontologie probabiliste qui consiste à gérer les connaissances incertaines à partir d'une ontologie Health-Iot.

Dans ce chapitre nous allons parler du choix de notre maladie, les étapes de modélisation de l'ontologie, le processus de construction de l'ontologie probabiliste PR-OWL à partir d'une ontologie classique OWL existante, tout en suivant les différentes étapes de la méthodologie UMP-ST.

### 3.2 Motivation de l'étude de cas

Selon l'organisation mondiale de la santé, les maladies cardiovasculaires (MCV) regroupent un certain nombre de troubles affectant le cœur et les vaisseaux sanguins comme :

- l'hypertension artérielle (élévation de la tension).
- les cardiopathies coronariennes (crise cardiaque ou infarctus).
- les maladies cérébrovasculaires (accident vasculaire cérébral).
- les artériopathies périphériques.
- l'insuffisance cardiaque.
- les cardiopathies rhumatismales.
- les cardiopathies congénitales.
- les cardiomyopathies.

L'organisation mondiale de la santé estime que 17.5 millions de décès sont dus chaque année aux maladies cardiaques dans le monde. Ce qui représente 31% de tous les décès dans le monde. La moitié des décès aux États-Unis et dans d'autres pays développés sont dus à des maladies cardio-vasculaires.[43]

L'objectif de notre travail est de prédire si le patient présente un risque de maladie coronarienne à 10 ans.

#### • **Qu'est-ce que la maladie coronarienne ?**

Le cœur est une pompe musculaire puissante qui bat environ 100'000 fois par jour et propulse 10'000 litres de sang dans le corps. Pour que ce muscle puisse accomplir un tel travail, il faut qu'il soit continuellement approvisionné en oxygène, c'est-à-dire en sang frais. Cet approvisionnement en sang est assuré par les artères coronaires, les artères nourricières du cœur. [3]

#### • **Qui est concerné par la maladie coronarienne ?**

La maladie coronarienne est l'une des maladies cardio-vasculaires les plus fréquentes. Dans notre pays, le risque d'en être atteint au cours de sa vie est de 23% chez les hommes et 18% chez les femmes. Elle est aussi la cause de décès la plus fréquente. [3]

La maladie coronarienne est en grande partie due au vieillissement ; il existe souvent également une prédisposition familiale. Mais c'est aussi notre mode de vie qui l'accélère et la déclenche : tabagisme, alimentation déséquilibrée, manque d'activité physique, excès de poids, hyperlipidémie, diabète, hypertension artérielle et stress sont autant de facteurs qui accroissent fortement le risque. [3]

## **3.3 Le Dataset**

L'ensemble de données est disponible publiquement sur le site Web de Kaggle [4] et provient d'une étude cardiovasculaire en cours sur les résidents de la ville de Framingham, dans le Massachusetts. Le jeu de données fournit des informations sur les patients. Il comprends plus de 4 000 enregistrements et 15 attributs. [14]

Chaque attribut est un facteur de risque potentiel.

### **3.3.1 Description des données**

- **Sexe** : homme ou femme ("M" ou "F").
- **Âge** : Âge du patient;(Continu - Bien que les âges enregistrés aient été tronqués en nombres entiers, le concept d'âge est continu).
- **Cigs Per Day (cigarettes par jour)** : le nombre de cigarettes que la personne a fumé en moyenne en une journée (peut être considéré comme continu car on peut avoir n'importe quel nombre de cigarettes, même une demi-cigarette).

- **Médicaments pour la pression artérielle** : si le patient prenait ou non des médicaments pour la pression artérielle (Nominal).
- **Prévalence de l'AVC** : le patient a-t-il déjà eu un AVC ou non ?.
- **Prévalence de l'hypertension** : si le patient était hypertendu ou non (Nominal).
- **Diabète** : si le patient était diabétique ou non (Nominal).
- **Tot Chol** : taux de cholestérol total (Continu).
- **Sys BP** : pression artérielle systolique (Continu).
- **Dia BP** : pression artérielle diastolique (Continu).
- **BMI** : Body Mass Index (Continu).
- **Heart Rate** : rythme cardiaque (Continu - En recherche médicale, des variables telles que le rythme cardiaque, bien qu'en fait discrètes, sont considérées comme continues en raison du grand nombre de valeurs possibles).
- **Glucose** : taux de glucose (Continu).
- **Variable prédictive (objectif souhaité)** :
- **Risque de maladie coronarienne à 10 ans CHD** : (binaire : "1", signifie "Oui", "0" signifie "Non") [14]

### 3.4 Schéma global

Notre objectif consiste à concevoir un système de prédiction sur la maladie cardiovasculaire dans une ontologie probabiliste, puis l'aide au diagnostic médical à partir des données des objets connectés médicaux.

Donc notre système contient 2 grandes étapes :

1. **Étape de construction.**
2. **Étape d'utilisation.**

La figure 3.1 ci dessous représente notre schéma global.

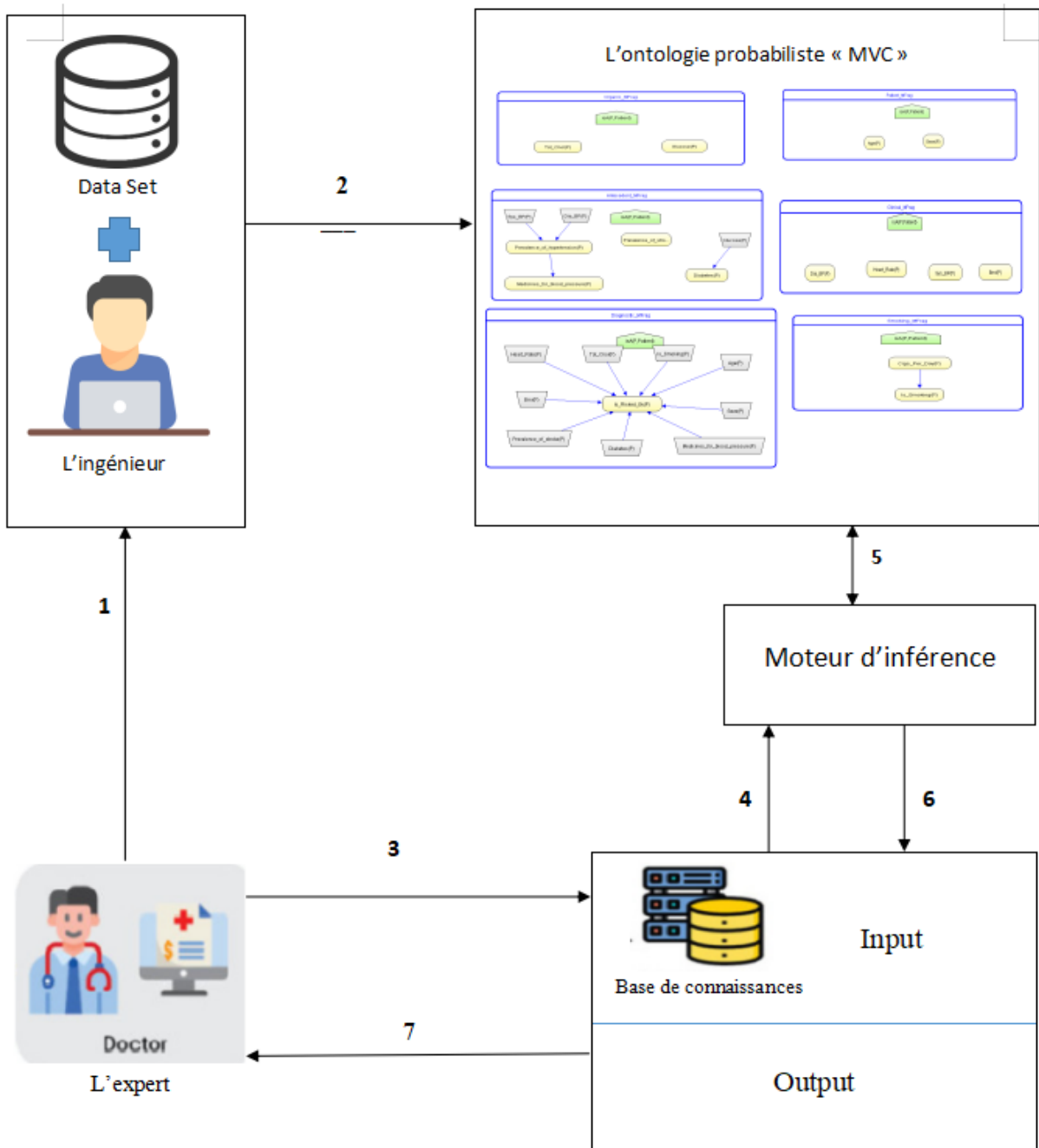


FIGURE 3.1 – Schéma global

Le tableau 3.1 décrit le schéma global

Numéro	La description
1	L'ingénieur reçoit les données des capteurs des patients avec les informations sur la maladie à traiter
2	A partir de ces données et de Dataset, il va extraire les connaissances pour la création d l'ontologie probabiliste souhaitée
3	Le médecin remplit les informations du patient qui souhaite diagnostiquer.
4	Ces informations sont transférées au moteur d'inférence qui pour les traitements.
5	Le moteur d'inférence utilise d'abord l'ontologie probabiliste.
6	Affichage de la requête de médecin.
7	Le médecin reçoit les résultats du diagnostic.

TABLE 3.1 – Description du schéma global

L'ontologie HealthIot ne contient pas les notions de notre maladie, alors on a ajouté une classe « Risk-factor » qui contient tous les facteurs de risques de la maladie coronarienne, et on a ajouté aussi l'ensemble des propriétés citées dans les tableaux qui viendront

La figure3.2 montre la hiérarchie de l'ontologie HealthIot après la modification (on a sélectionné les classes qu'on a ajouté) :

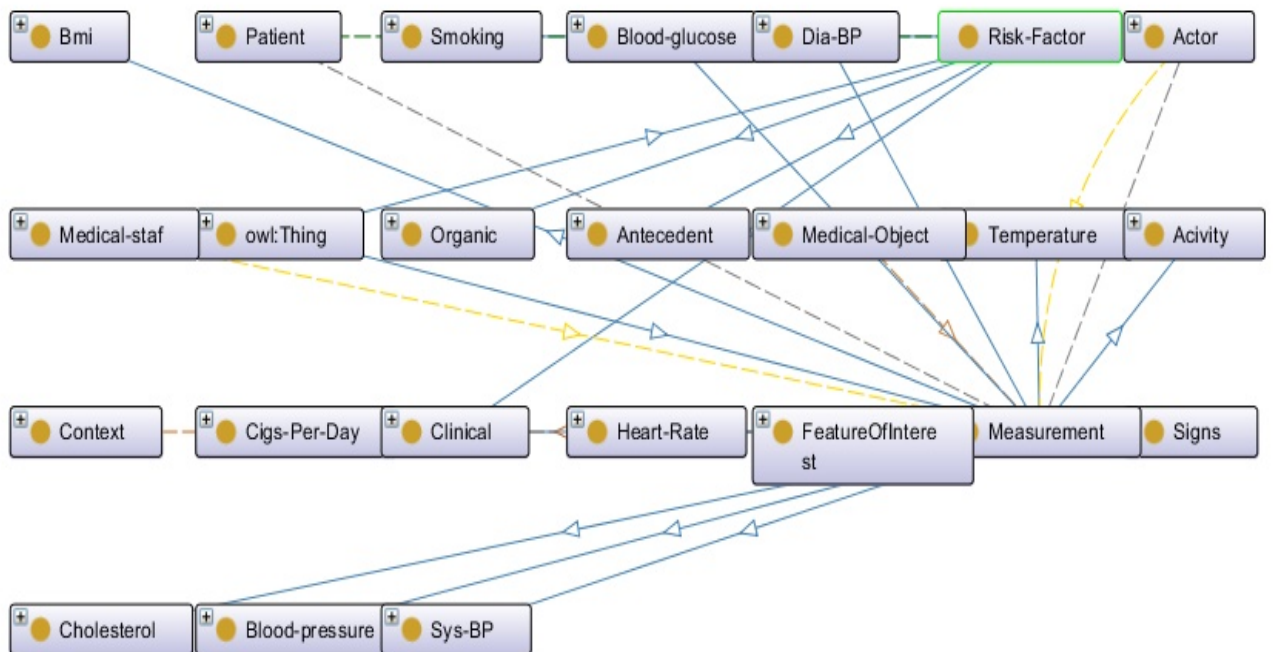


FIGURE 3.2 – La hiérarchie de l'ontologie HealthIot après la modification

La figure3.3 ci-dessous représente les classes et les propriétés de l'ontologie Health-Iot après modification :



FIGURE 3.3 – Ontologie health-Iot après modification

Donc l'ontologie HealthIot n'est pas probabiliste, Et pour la rendre probabiliste on va suivre les étapes qui vient juste après

## 3.5 Création de l'ontologie probabiliste

Le but de notre ontologie est de prédire si la personne peut avoir un risque de maladie coronarienne sur 10 ans, en utilisant l'ontologie Health-Iot avec le traitement des connaissances incertaines par le suivi de la méthodologie UMP-ST

### 3.5.1 Les exigences

En d'autres termes, une demande adressée au système en cours de conception. Pour chaque question, un ensemble d'informations qui peuvent aider à répondre.

#### 3.5.1.1 Les buts

C'est les requêtes auxquelles les utilisateurs s'attendent à ce que le système réponde à travers un raisonnement ontologique probabiliste, ou on peut poser la question : est-ce que cette personne peut avoir une maladie coronarienne

— **Requête**

Quels sont les facteurs de risques de cette maladie ?

— **Preuve**

— Le tabagisme

— Les infarctus

— Le diabète

— Les AVC

— L'hyperlipidémie

— L'hypertension

### 3.5.2 Analyse

Cette étape décrit les entités (les attributs, les relations), les règles (déterministe, stochastique) et les groupes

#### 3.5.2.1 Entités et propriétés

D'après l'expert du domaine on a pu déduire ces entités avec leurs relations

Entité	Attribut	Domaine	Rang
Patient	Sexe	Patient	String
	Age	Patient	Int
Clinique	Sys BP	Clinique	Float
	Dia BP	Clinique	Float
	Heart Rate	Clinique	Float
	Bmi	Clinique	Float
Biologique	Tot Chol	Biologique	Float
	Glucose	Biologique	Float
Tabagisme	Is Smoking	Tabagisme	Boolean
	Cigs Per Day	Tabagisme	Int
Antécédent	Prévalence de l'AVC	Antécédent	Boolean
	Médicaments pour la pression artérielle	Antécédent	Boolean
	Prévalence de l'hypertension	Antécédent	Boolean
	Diabète	Antécédent	Boolean

TABLE 3.2 – Entités et leurs attributs

Le tableau 3.3 montre Les relations entre entités.

Attribut	Domaine	Range
Avoir Risque	Patient	Facteur De Risk

TABLE 3.3 – Entités et leurs relations

### 3.5.2.2 Mesure

La réalisation de l'ontologie des probabilités nécessite spécification des probabilités numériques. La valeur de probabilité peut être obtenue auprès de l'expert de domaine ou obtenue à partir de l'observation

Après l'analyse du data-set à l'aide de l'expert du domaine, on a déduit la catégorisation présentée dans la Table 3.4.



Attribut	Intervalle	Valeurs
CigsPerDay	[0 – 5]	Low
	[6 – 15]	Normal
	15 <	High
Age	[0 – 50]	Young
	50 <	Old
TotChol	< 170	Ideal
	[170 – 199]	Borderline
	200 <	High
SysBP	< 100	Low
	[101 – 139]	Normal
	[140 – 159]	Mild hypertension
	[160 – 179]	Moderate hypertension
	180 <	Severe hypertension
DiaBP	< 60	Low
	[61 – 89]	Normal
	[90 – 99]	Mild hypertension
	[100 – 109]	Moderate hypertension
	110 <	Severe hypertension
BMI	< 18.5	Skinny
	[18.5 – 29.9]	Normal
	[30 – 40]	Obese
	40 <	Morbid obesity
HeartRate	< 60	Low
	[60 – 100]	Normal
	100 <	High
Glucose	< 70	Low
	[70 – 100]	Normal
	100 <	High

TABLE 3.4 – Catégorisation d'attributs.

### 3.5.2.3 Les groupes

Pour illustrer les relations avec les entités, les dépendances et les attributs pour construire notre ontologie, nous avons choisi de les représenter dans le diagramme de classe ci-dessous :

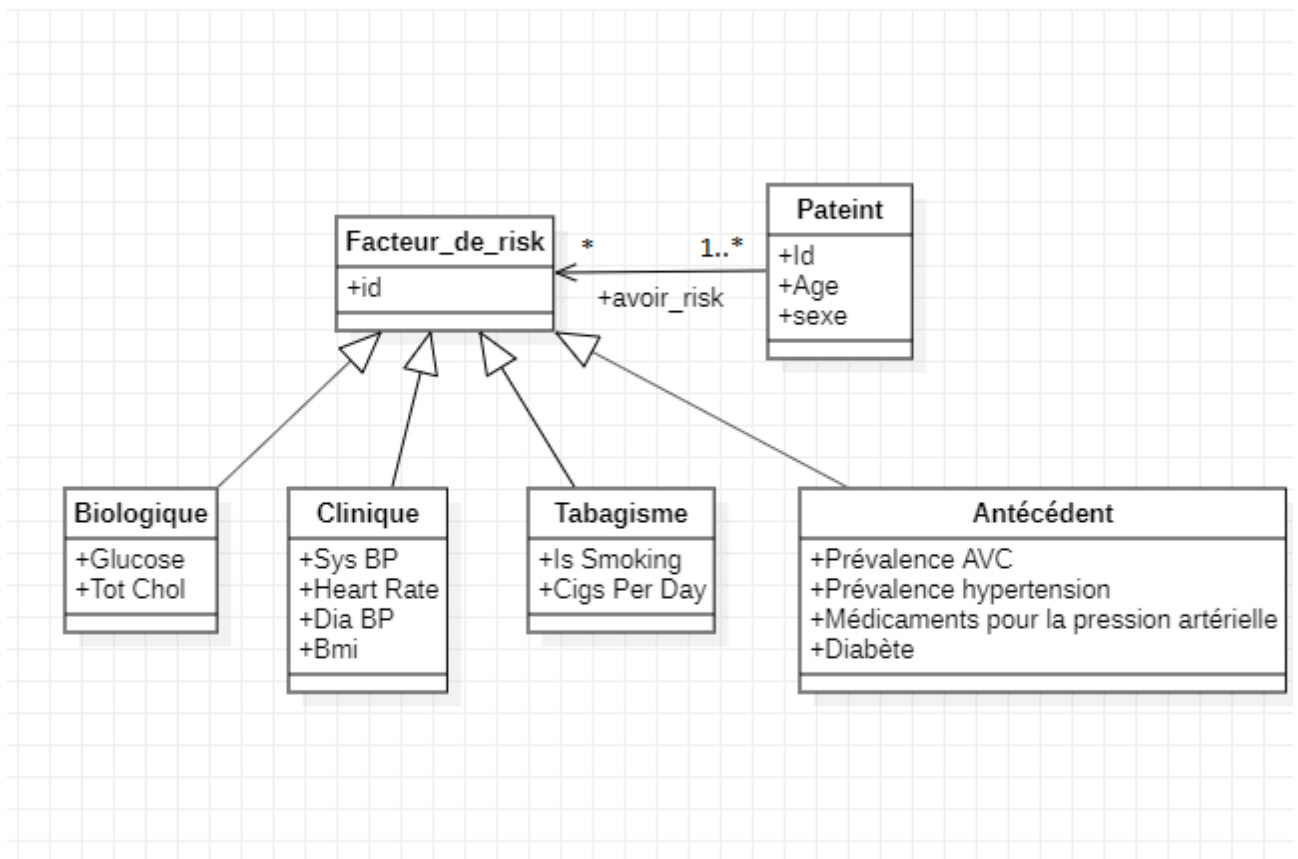


FIGURE 3.4 – Diagramme de classe

### 3.5.3 Implémentation

Pour représenter les connaissances extraites à l'étape précédente, nous utilisons une ontologie Health-Iot, cette ontologie permet de représenter de manière claire et complète l'harmonisation entre les connaissances IOT dans le domaine médical, et pour raisonner de façon probabiliste sur des connaissances incertaines nous utilisons PR-OWL pour représenter notre ontologie probabiliste qui est basée sur la logique bayésienne du premier ordre appelée Multi-Entity Bayesian Networks (MEBN).

#### 3.5.3.1 Mapping

Le mapping nous permet d'utiliser PR-OWL pour raisonner de façon probabiliste sur des connaissances incertaines d'une ontologie existante basée sur les connaissances déjà disponibles [13].

##### (a) MTheory :

Un MTheory est un ensemble de MFragments qui satisfait collectivement des contraintes de cohérence assurant l'existence d'une distribution unique de probabilité conjointe sur les

instances des variables aléatoires représentées dans chacune des MFrag dans l'ensemble [13].

La création de la Mtheory est la première étape pour construire une ontologie Probabiliste, elle se fait juste après l'importation de l'ontologie qu'on veut modéliser, ce MTheory va contenir les MFrag, dont notre ontologie probabiliste aura Besoin.

(b) **MFrag :**

Un MFrag représente une distribution de probabilité conditionnelle pour les cas de ses variables aléatoires résidentielles données à leurs parents dans le graphique des fragments et les nœuds contextuels [13].

Après la création de notre MTheory, nous commençons par la création des MFrag qui contient les nœuds (nœuds résidents, nœuds de contexte, nœuds d'entrés) qui sont les variables aléatoires. La figure3.5 montre les Mfrag de domaine :

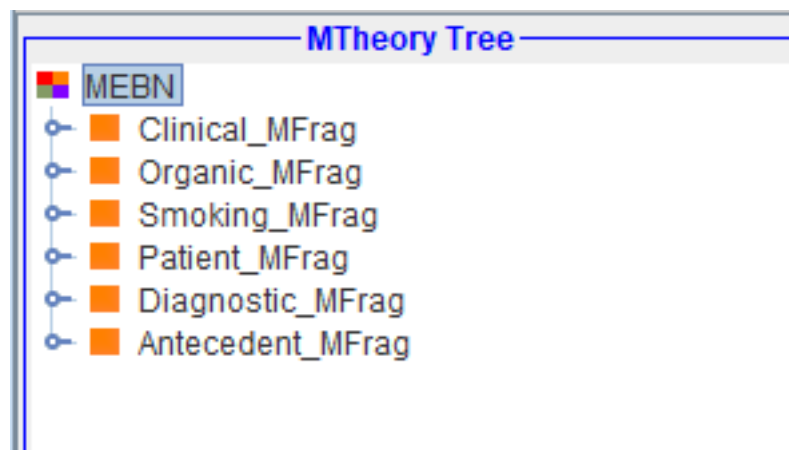


FIGURE 3.5 – MTheory Tree

- **Variables ordinaires :** Pour la déclaration des variables ordinaires on aura besoin des classes OWL que nous avons déjà extrait. Une variable ordinaire est déclarée avec la relation 'est-un' (IsA), c'est une instantiation d'une entité (classe OWL). Par exemple :  $IsA(p, Patient)$  tel que  $p$  est notre variable ordinaire et Patient est l'entité (la classe OWL).



FIGURE 3.6 – Variable ordinaire « P »

- **ResidentNode (nœuds résidents) :** Ce sont les variables aléatoires réelles qui forment le cœur du sujet d'un MFrag. La logique MEBN exige que la distribution probabiliste locale de chaque nœud résident doit être unique et explicitement défini dans son MFrag original. Les valeurs possibles d'un nœud résident peuvent

être une entité existante [36].

Exemple de nœud résident dans le MFrag ‘ SmokingMFrag ’

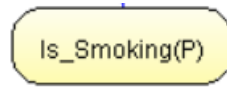


FIGURE 3.7 – Nœud résident « Is Smoking »

- **ContextNode (nœud de contexte) :** Ce sont des variables aléatoires booléennes représentant des conditions qui doivent être satisfaites pour faire une distribution dans un MFrag valide. Les nœuds de contexte peuvent représenter plusieurs types de modèles d’incertitude sophistiqués, tel que l’incertitude sur les relations entre les entités. Si on peut inférer de la base de connaissances (c’est à dire l’ontologie) que la valeur d’un nœud de contexte est vraie, la distribution de probabilité de l’MFrag sera appliquée dans le modèle d’inférence. Si cette valeur est fausse, une distribution par défaut sera utilisée.

Si la valeur est inconnue, le nœud de contexte devient pratiquement un parent de tous les nœuds résidents dans le même MFrag [36].



FIGURE 3.8 – Nœud contexte « IsA() »

- **InputNode (nœud d’entre) :** Ces nœuds sont essentiellement des «pointeurs» faisant référence aux nœuds résidents d’un autre MFrag. Les nœuds d’entrées fournissent également un mécanisme permettant la réutilisation des nœuds résidents entre les MFrag. Les nœuds d’entrée influencent la distribution de probabilité des nœuds résidents qui sont leurs enfants dans un MFrag donné, mais leurs propres distributions sont définis ailleurs (c’est à dire dans leurs propres MFrag d’origine). Dans une MTheory complète, chaque nœud d’entrée doit pointer vers un nœud résident dans un MFrag [36].

Par exemple le nœud « heart Rate » dans le MFrag « Diagnostic MFrag » fait référence au nœud du MFrag « Clinical MFrag »

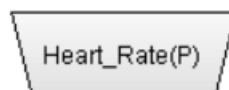


FIGURE 3.9 – Nœud dentre « Heart Rate »

(c) **Les types des relations du réseau bayésien** : Le type de relation entre les noeuds qui vont être inclus dans la structure du réseau est de type causal, on distingue deux types de noeuds dans une relation de causalité :

- Relation de causalité entre les noeuds d'entrées avec des noeuds résidents.
- Relation de causalité entre les noeuds résidents avec d'autres noeuds résidents [36].

Après les définitions des différents noeuds de MFrag nous allons montrer chaque MFrag en détails :

Figure3.10 montre les différents noeuds du MFrag « Patient MFrag »

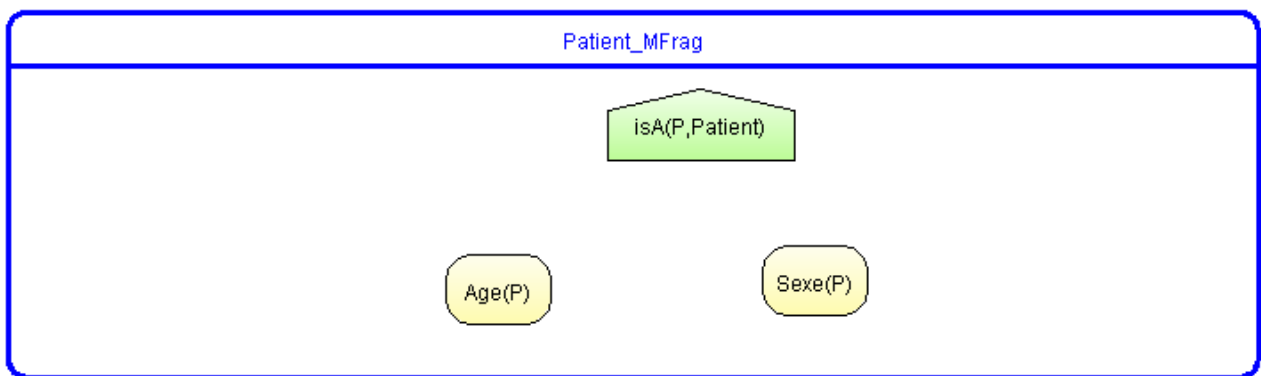


FIGURE 3.10 – MFrag « Patient »

Figure3.11 montre les différents noeuds du MFrag « Smoking MFrag »

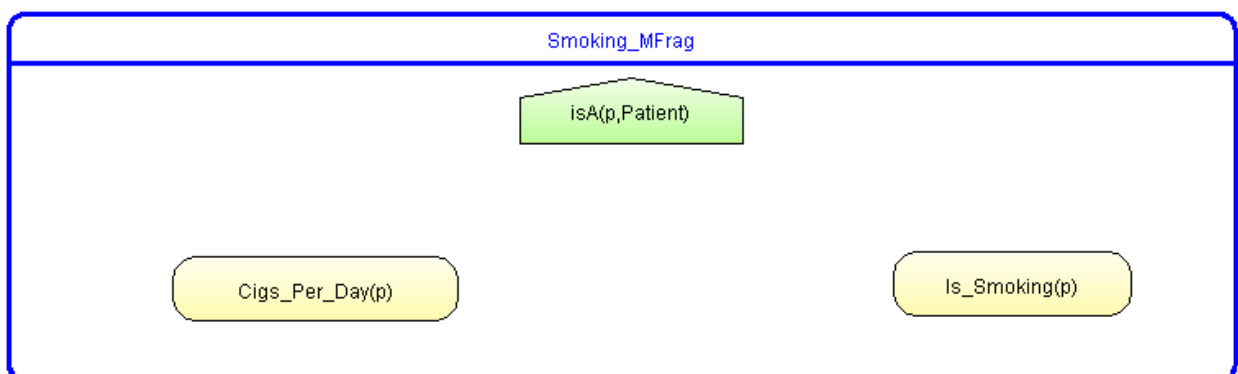


FIGURE 3.11 – MFrag « Smoking »

Figure3.12 montre les différents noeuds du MFrag « Organic MFrag »

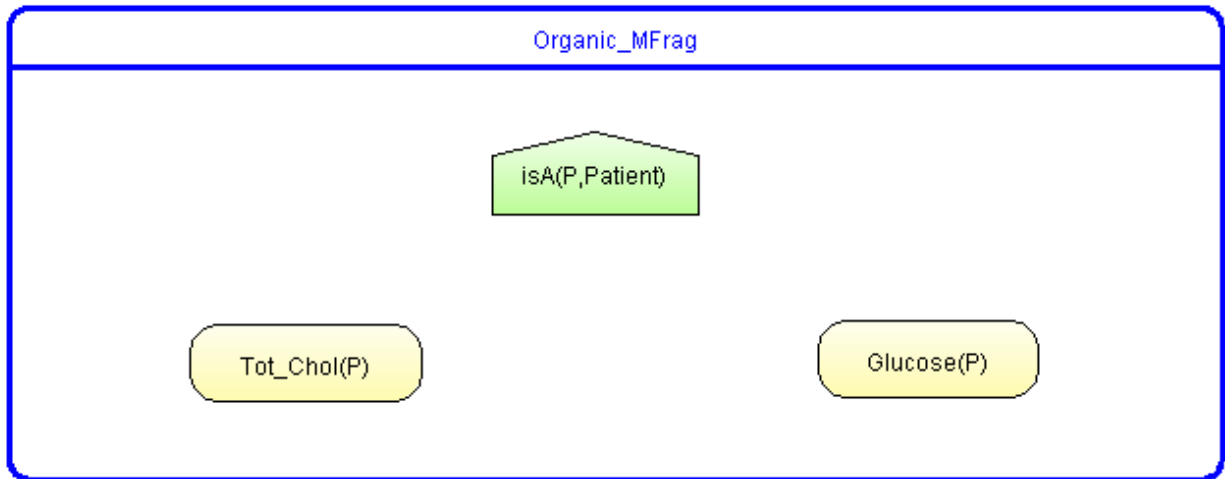


FIGURE 3.12 – MFrag « Organic »

Figure 3.13 montre les différents nœuds du MFrag « Clinical MFrag »

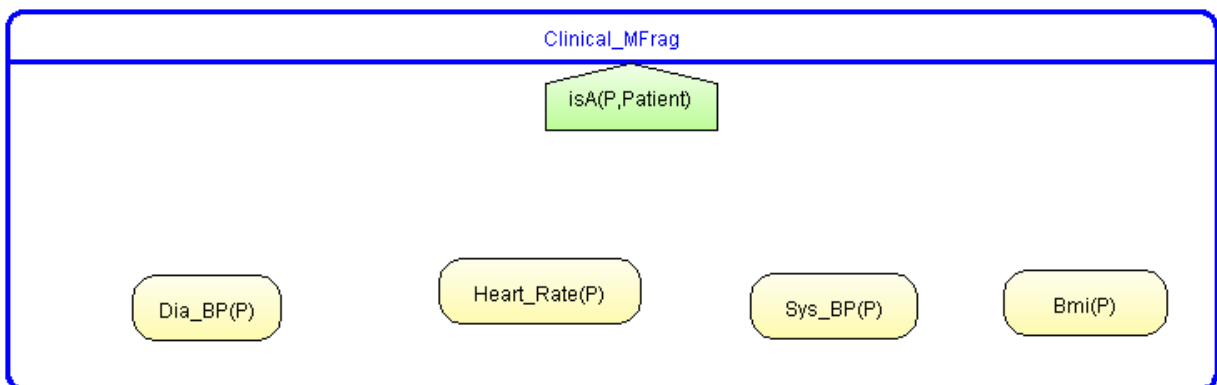


FIGURE 3.13 – MFrag « Clinical »

Figure 3.14 montre les différents nœuds du MFrag « Antecedent MFrag »

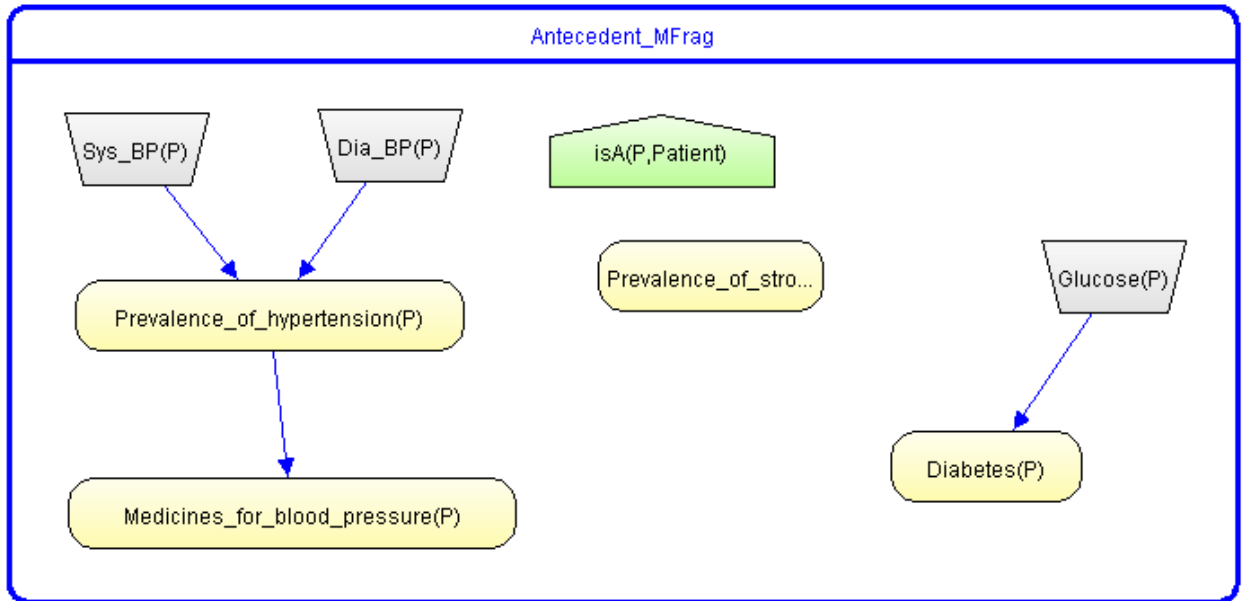


FIGURE 3.14 – MFrag « Antecedent »

Figure 3.15 montre les différents nœuds du MFrag « Diagnostic MFrag »

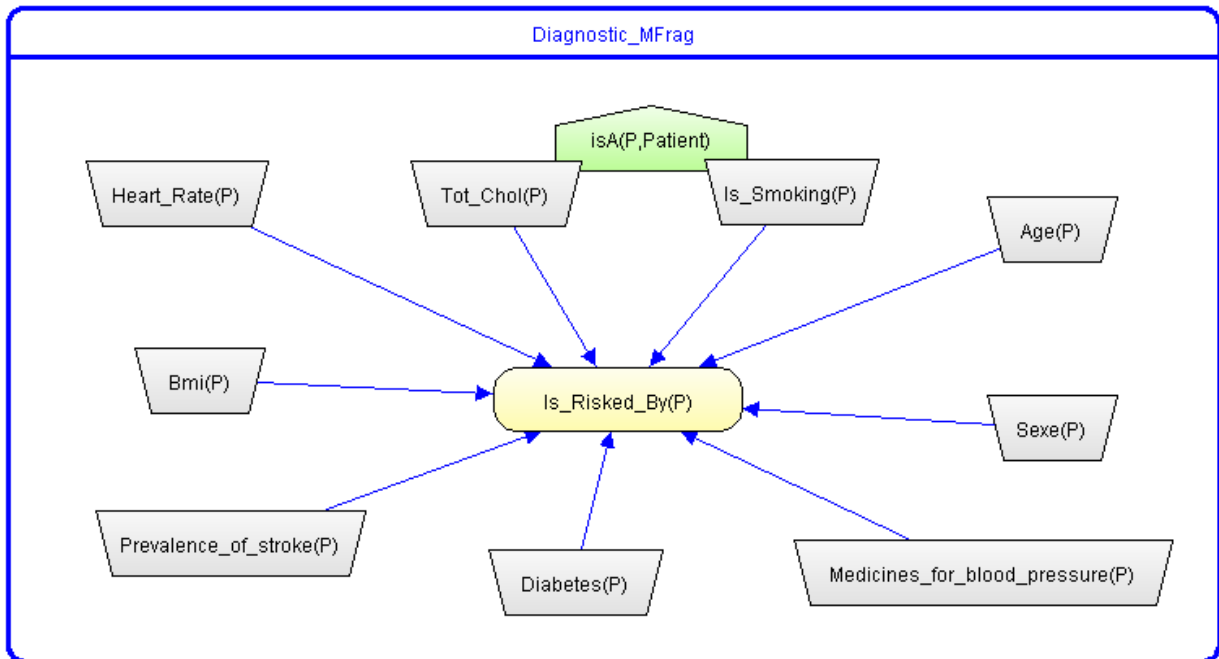


FIGURE 3.15 – MFrag « Diagnostic »

### 3.5.3.2 Probabilités

La dernière étape dans la construction d'une ontologie probabiliste dans UnBBayes est de définir les Distributions de Probabilités Locales (LPD) pour toutes les variables aléatoires (VR) résidents.

Chaque MFrag définit les LPD pour ses nœuds résidentiels, Ces distributions sont conditionnées par la satisfaction des contraintes exprimées par les variables de contextes.

locales peuvent dépendre des valeurs des variables d'entrées, dont les distributions sont définies dans leurs MFrag d'origine.

Voici LPD du MFrag IsRiskedBy qui répond à notre requête principale si le patient a l'MCV ou non.

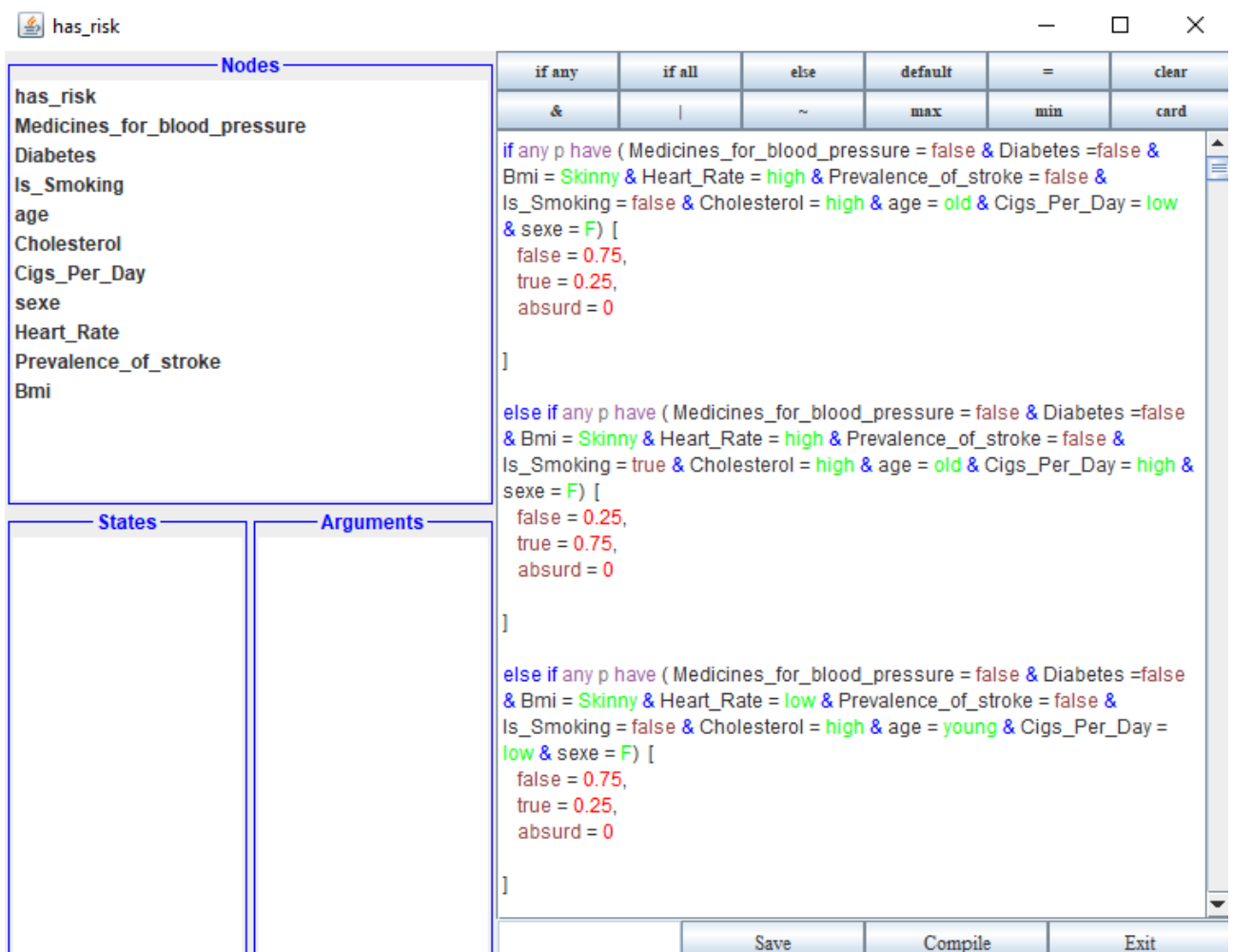


FIGURE 3.16 – LPD du MFrag HasRisk

Le résultat de ce processus est un réseau bayésien spécifique à la situation (SSBN), qui est un réseau bayésien minimal suffisant pour obtenir la distribution postérieure pour un ensemble d'instances de variables aléatoires.



La Figure 3.17 présente les résultats d'une seule combinaison d'états pour les variables aléatoires des patients sans préciser ses évidences.

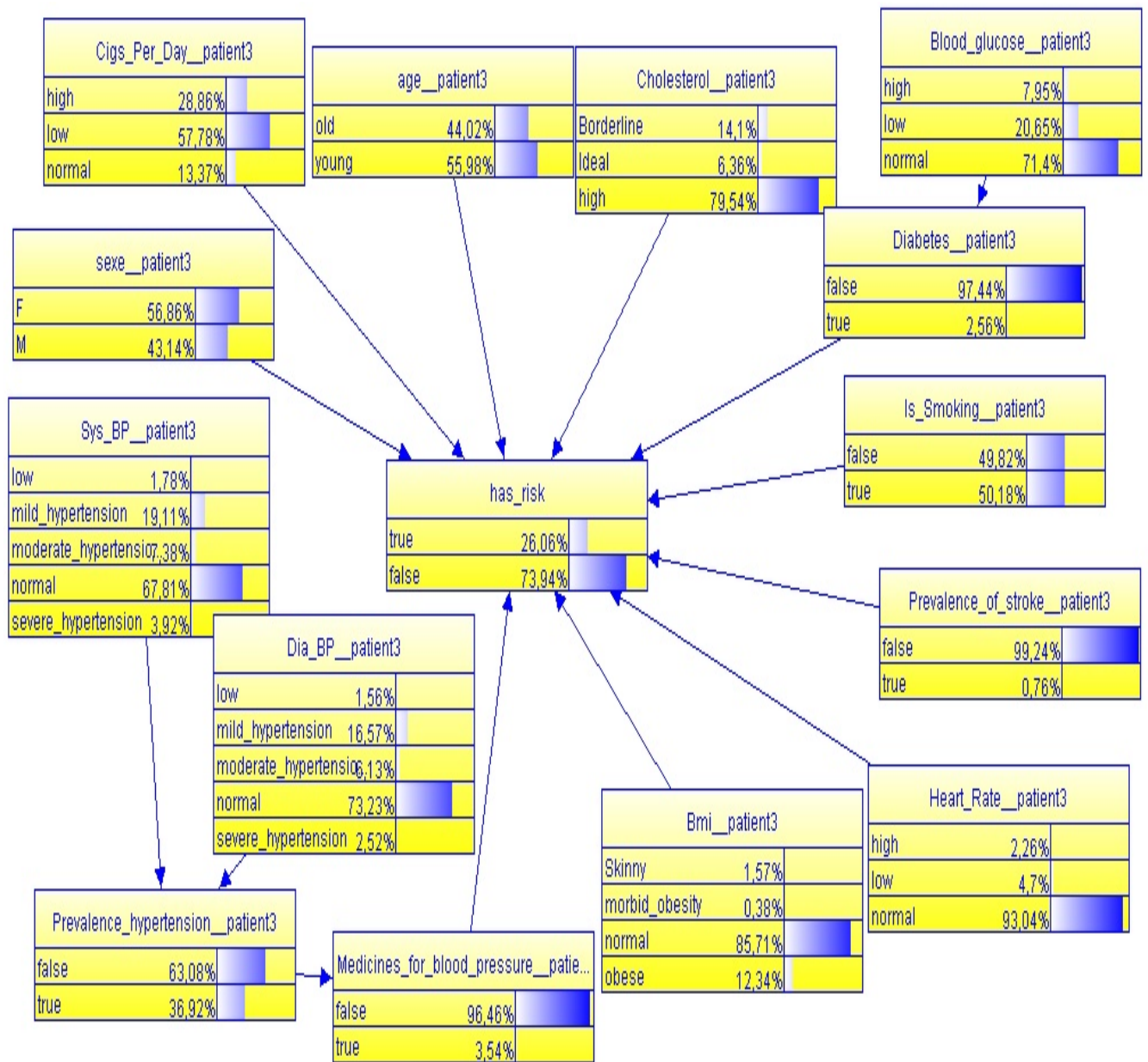


FIGURE 3.17 – Résultat SSBN pour le nœud Has Risk(Patient P).

### 3.5.4 Test

L'objectif de la discipline de test est de trouver des défauts et des domaines d'amélioration dans le modèle.

l'évaluation qui doivent être effectués distingue deux types la vérification et la validation. D'une part, la vérification concerne la fourniture de toutes les fonctionnalités promises au patient. Cela

implique généralement l'examen des exigences, de la documentation, de la conception et du code.

1. **La vérification** se fait souvent par des inspections et par des listes de contrôle.
2. **la validation** concerne le bon comportement du système. La validation est le test réel du système et il est effectué après la vérification [13].

### 3.5.4.1 Evaluation

Dans cette partie, nous nous concentrerons sur l'évaluation fondée sur des cas, qui définira des différents scénarios pour tester notre modèle. Nous voulons tester le comportement d'une partie du modèle, plus précisément, en vérifiant comment la variable centrée se comporte avec un ensemble de données distinct. Dans le cas de PR-OWL, nous pouvons analyser le comportement des variables aléatoires d'intérêt fournies par MFrag. Ce test MFrag est important pour saisir la cohérence locale du modèle.[13]

- (a) **Vérification** : La vérification implique l'établissement d'une construction correcte du système, c'est-à-dire que les éléments du système sont conformes à ses spécifications de performance définies [13]. Dans notre étude de cas, nous examinerons principalement en quoi la requête Has Risk (Patient) diffère entre les tests. Nous avons défini deux scénarios différents pour illustrer le mécanisme de définition et de test des scénarios. Le premier est de montrer des preuves sur les facteurs de risque qui n'ont aucune influence, et le second est la preuve qu'il existe des facteurs de risque.
- (b) **Validation** : La validation vise à déterminer est ce que le bon système a été mis en place, ce qui signifie qu'il a atteint son utilisation prévue dans son environnement d'exploitation [13]. Lors de la définition du scénario, en plus de fournir les preuves à utiliser, vous devez également définir l'hypothèse à tester et les résultats attendus.

Pour faire la partie Vérification, nous avons créé des nouvelles instances de la classe Patient.

— **Test01** :

**Hypothèse a testée** : HasRisk(Patient)

**Résultat attendu** : Le patient est touché par l'MCV.

**Evidence** :

- Le patient est jeune.
- Le patient a un taux de cholestérol élevé.
- Le patient hypertendu.
- Le patient fume.
- Le patient n'est pas diabétique.

- Sys BP = severe hypertension
- Dia BP = severe hypertension
- Le patient a une prévalence de l'AVC.
- Le patient ne prend pas des médicaments pour la pression artérielle.

Après avoir créé les instances, nous allons d'abord charger les données du patient (test01) dans la base de connaissances, puis nous allons générer le SSBN (inférence).

La Figure3.18 montre le résultat :

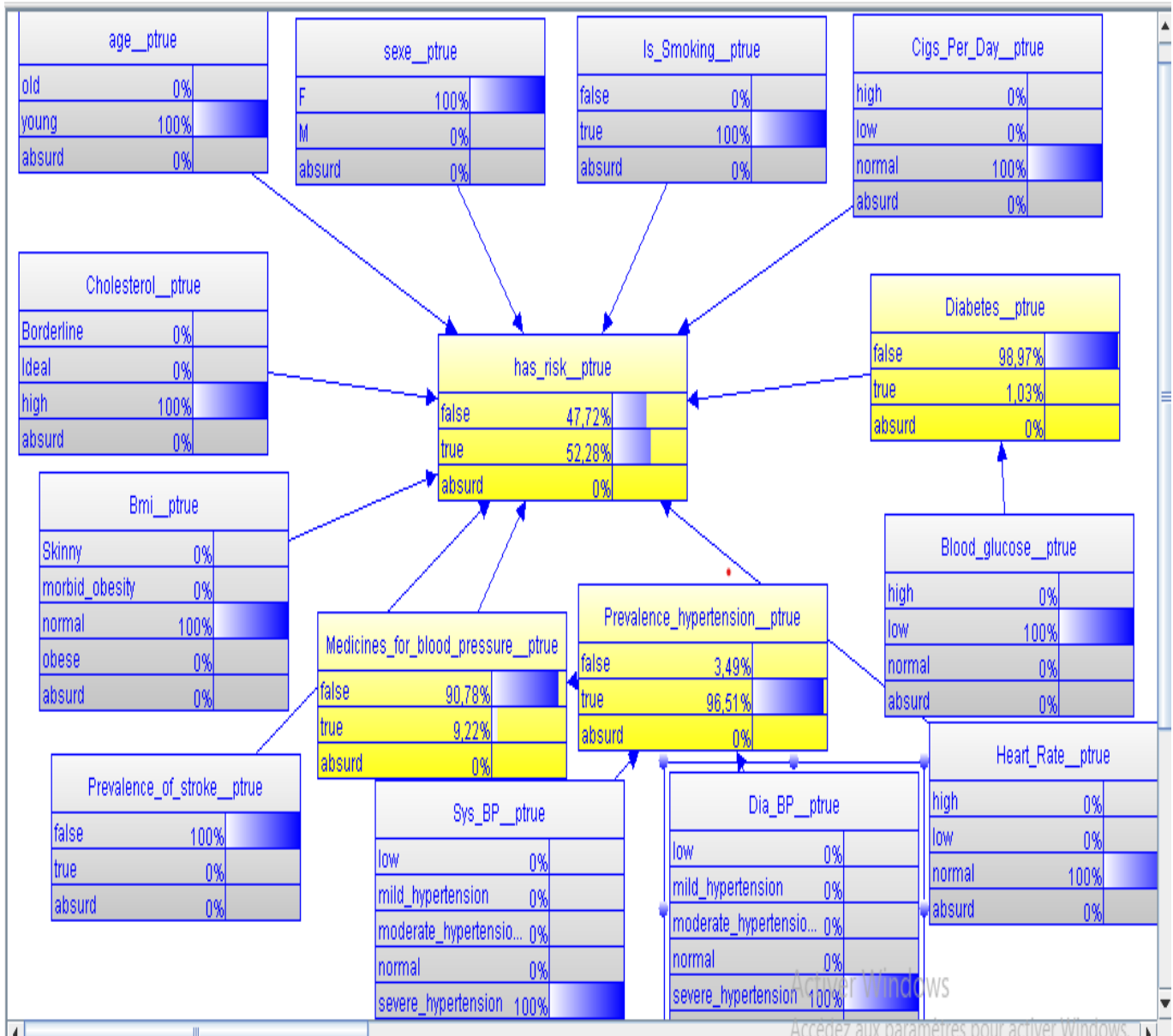


FIGURE 3.18 – SSBN test01

Donc le résultat montre que le patient a une risque d'avoir la maladie d'après les pourcentages FALSE = 47,72%, TRUE = 52,28%

— **Test02 :**

**Hypothèse a testée :** HasRisk(Patient)

**Résultat attendu :** Le patient n'est pas touché par l'MCV.

**Evidence :**

— Le patient est jeune.

— Le patient a un taux de cholestérol élevé.

— Le patient hypertendu.

— Le patient fume.

— Le patient n'est pas diabétique.

— Sys BP = mild hypertension

— Dia BP = normal

— Le patient a une prévalence de l'AVC.

— Le patient ne prend pas des médicaments pour la pression artérielle.

La Figure3.19 montre le résultat :

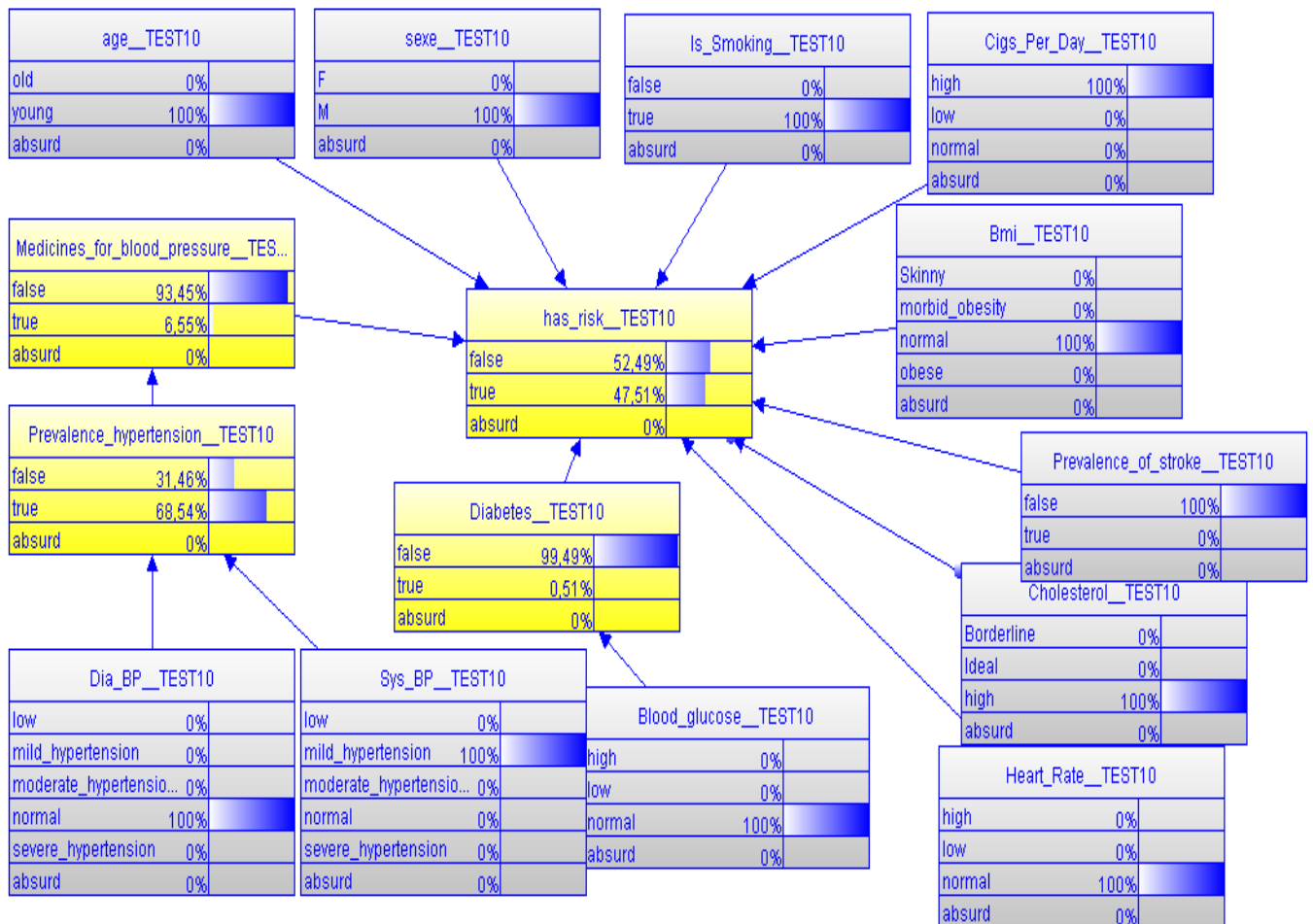


FIGURE 3.19 – SSBN test02

Donc le résultat montre que le patient na pas le risque d’avoir la maladie d’après les pourcentages FALSE = 52, 49%, TRUE = 47, 51%

— Après avoir suivi les étapes de la méthodologie UMP-ST, nous avons obtenu une ontologie probabiliste qui porte le MTheory avec ses différents MFrag.

### 3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré l’architecture de notre système et toutes les étapes de construction de notre ontologie probabiliste MCV. En suivant la méthodologie UMP-ST. En final, nous avons obtenu la bonne prédiction de la Maladie. Dans le prochain chapitre nous allons passer à la réalisation de notre système.



## *Chapitre 4*

---

# **Résultats expérimentaux et évaluation**

---

## **4.1 Introduction**

Dans le chapitre précédant nous avons terminé toutes les étapes de la méthodologie UMP-ST, maintenant nous allons mettre en œuvre notre ontologie probabiliste et notre système qui permet de faire l'inférence de notre cas d'étude dans un langage spécifié dans PR-OWL en utilisant UnBBayes. Nous allons utiliser des IHM graphiques pour représenter les fonctionnalités du système

Ce chapitre est le résultat de la conception afin de réaliser le système de modélisation de l'ontologie probabiliste. PR-OWL, nous effectuons des captures d'écran des différentes interfaces du système. A la fin de ce chapitre nous allons effectuer un test sur notre application.

## **4.2 Langages de Programmation**

### **4.2.1 Java**

La technologie Java définit à la fois un langage de programmation orienté objet et une plateforme informatique. Créée par l'entreprise Sun Microsystems (souvent juste appelée "Sun") en 1995, et reprise depuis par la société Oracle en 2009, la technologie Java est indissociable du domaine de l'informatique et du Web. On la retrouve donc sur les ordinateurs, mais aussi sur les téléphones mobiles, les consoles de jeux, etc. L'avènement du smartphone et la puissance croissante des ordinateurs, ont entraîné un regain d'intérêt pour ce langage de programmation.[2]

## **4.3 Outils de développement**

Nous allons vous présenter les programmes utilisés lors de l'implémentation de notre système.

### 4.3.1 Eclipse IDE

Eclipse est un environnement de développement (IDE) crée par IBM en 2001. Il offre de nombreuses fonctionnalités pratiques pour faciliter la programmation d'un logiciel.

### 4.3.2 Protégé

Protégé est un système auteur pour la création d'ontologies. Il a été créé à l'université Stanford et est très populaire dans le domaine du Web sémantique et au niveau de la recherche en informatique. Il peut lire et sauvegarder des ontologies dans la plupart des formats d'ontologies : RDF, RDFS, OWL, etc.

Protégé est livré avec des packages de visualisation tels que OntoViz, EZPal, etc. ; tout cela aide l'utilisateur à visualiser les ontologies à l'aide de diagrammes. Stanford L'université fait un travail magnifique d'amélioration continue de Protégé. Protégé est aussi une plate-forme extensible, grâce au système de plug-ins, qui permet de gérer des contenus multimédias, interroger, évaluer et fusionner des ontologies, etc. L'outil Protégé possède une interface utilisateur graphique (GUI) lui permettant de manipuler aisément tous les éléments d'une ontologie : classe, méta-classe, propriété, instance, . . . etc. Protégé peut être utilisé dans n'importe quel domaine où les concepts peuvent être modélisés en une hiérarchie des classes [32].

### 4.3.3 GeNie

GeNieModeler est l'interface utilisateur graphique (GUI) du moteur SMILE, permettant la construction interactive de modèles et l'apprentissage. Le modèle GeNie ne déforme pas la réalité en fonction des outils de modélisation disponibles. Tout ce qui est nécessaire pour le domaine peut être modélisé. Puisque certains types de modèles ne disposent pas d'algorithmes précis, le logiciel est équipé d'un ensemble d'algorithmes d'échantillonnage aléatoire approximatif qui peuvent résoudre tous les modèles.

## 4.4 API Utilisé

Nous allons vous présenter les différents outils utilisés lors de l'implémentation de notre système.

### 4.4.1 OWL API

Il s'agit d'un ensemble d'interfaces riches en fonctionnalité, permettant une manipulation flexible d'ontologies.



## 4.4.2 Protégé OWL API

L'API Protege-OWL est une bibliothèque Java open-source pour le Web Ontology Language (OWL) et RDF(S). L'API fournit des classes et des méthodes permettant de charger et d'enregistrer des fichiers OWL, d'interroger et de manipuler des modèles de données OWL, et d'effectuer des raisonnements basés sur des moteurs de logique de description. En outre, l'API est optimisé pour la mise en œuvre d'interfaces graphiques utilisateur [1].

## 4.4.3 UnBBayes

UnBBayes est un cadre de réseau probabiliste écrit en Java. Il dispose à la fois d'une interface graphique et d'une API avec des fonctions d'inférence, d'échantillonnage, d'apprentissage et d'évaluation. [39].

## 4.4.4 Java swing API

Swing est une bibliothèque graphique pour le langage de programmation Java, faisant partie du package Java Foundation Classes (JFC), inclus dans J2SE. Swing constitue l'une des principales évolutions apportées par Java 2 par rapport aux versions antérieures. Swing offre la possibilité de créer des interfaces graphiques identiques quel que soit le système d'exploitation sous-jacent, au prix de performances moindres qu'en utilisant Abstract Window Toolkit (AWT) [5].

## 4.5 La mise en œuvre du système

Après l'installation de tout les plugins nécessaires d'UnBBayes et de Maven, nous allons utiliser un fichier avec extension UBF qui a été généré automatiquement à partir de la création de l'ontologie probabiliste qui contient les nœuds de notre ontologie, et un fichier avec extension «.PLM » qui présente notre base de connaissance et qui contient un exemplaire du nœud « Avoir risque », après avoir fait une nouvelle prédiction d'un nouveau patient, qui va être stocker dans la base de connaissance.

## 4.6 La base de connaissance

La figure4.1 ci-dessus montre un modèle d'une Base de connaissances (Fichier PLM)

```
pl.plm - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
;;; -*- Mode: Lisp; Package: STELLA; Syntax: COMMON-LISP; Base: 10 -*-

(CL:IN-PACKAGE "STELLA")

(DEFMODULE "/PL-KERNEL-KB/PL-USER/GENERATIVE_MODULE_1/FINDINGS_MODULE_1"
  :CASE-SENSITIVE? FALSE)

(IN-MODULE "/PL-KERNEL-KB/PL-USER/GENERATIVE_MODULE_1/FINDINGS_MODULE_1")

(IN-DIALECT :KIF)

(ASSERT (SSBN_LABEL SSBN_AUTOMATICALLYCREATEDNET_1623453003560))
(ASSERT (SSBN_LABEL SSBN_AUTOMATICALLYCREATEDNET_1623436194439))
(ASSERT (SSBN_LABEL SSBN_AUTOMATICALLYCREATEDNET_1623452873114))
(ASSERT (SERVICE_LABEL HYPERGLYCEMIA-TREATMENT))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-10-08-2020-09-40))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-10-06-2020-11-15))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-10-07-2020-11-56))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-12-12-2013))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-10-07-2020-19-10))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-10-11-2019))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-10-07-2020-10-30))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-10-07-2020-15-15))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-10-08-2020-11-56))
(ASSERT (ORGANIC_LABEL BLOOD-GLUCOSE-10-06-2020-11-56))
(ASSERT (PATIENT_LABEL 53B90A4CAD0E1319152D8C973FFF7E4))
(ASSERT (PATIENT_LABEL PATIENT2))
(ASSERT (PATIENT_LABEL PATIENT3))

Ln 16, Col 56 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

FIGURE 4.1 – Fichier PLM

## 4.7 Les interfaces graphiques

Nous allons montrer les différentes interfaces de notre application.

## 4.7.1 L'interface d'accueil

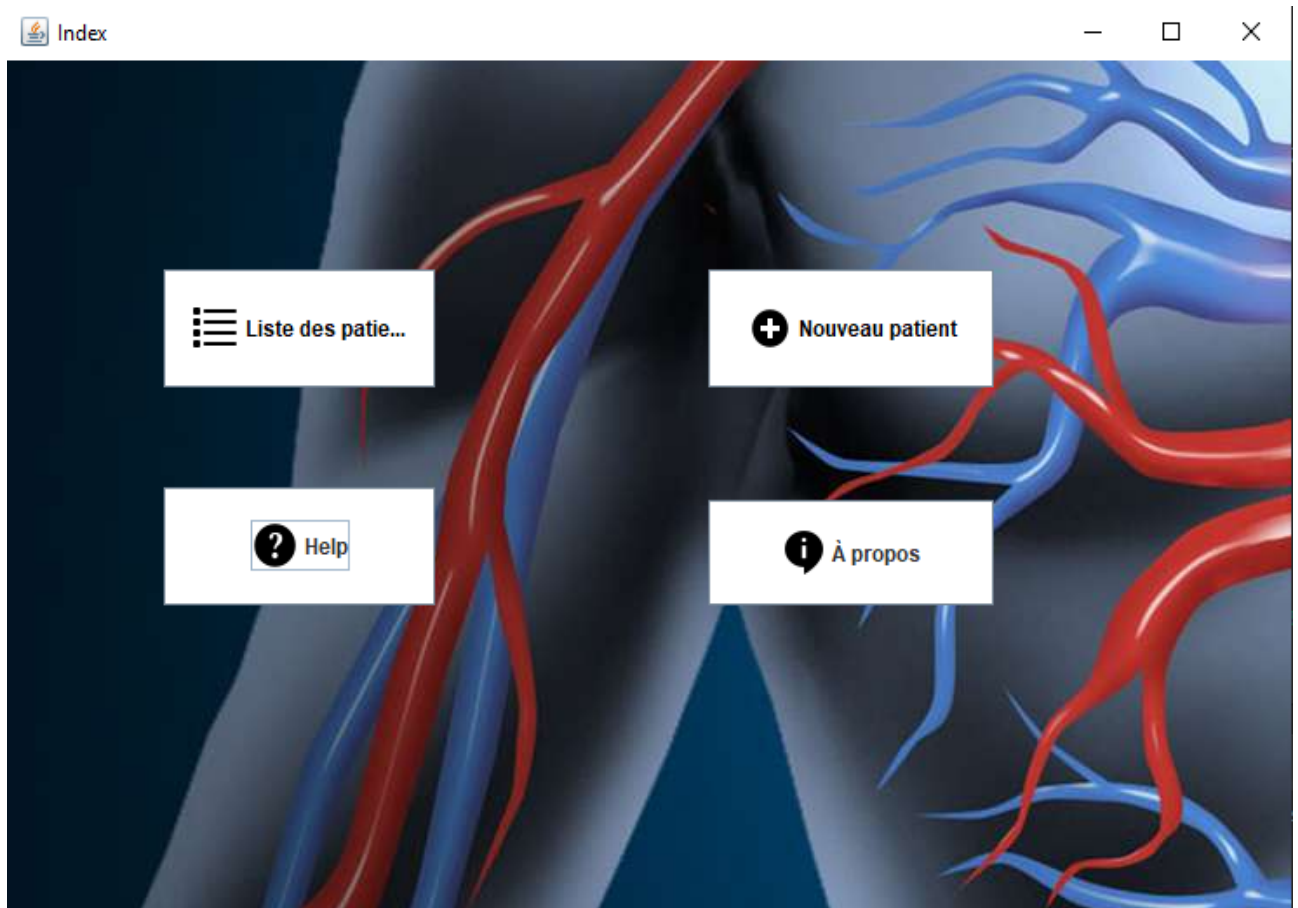


FIGURE 4.2 – Interface d'accueil

La première interface à afficher, Interface l'accueil permet un accès rapide aux principales fonctionnalités du système.

## 4.7.2 Liste des patients

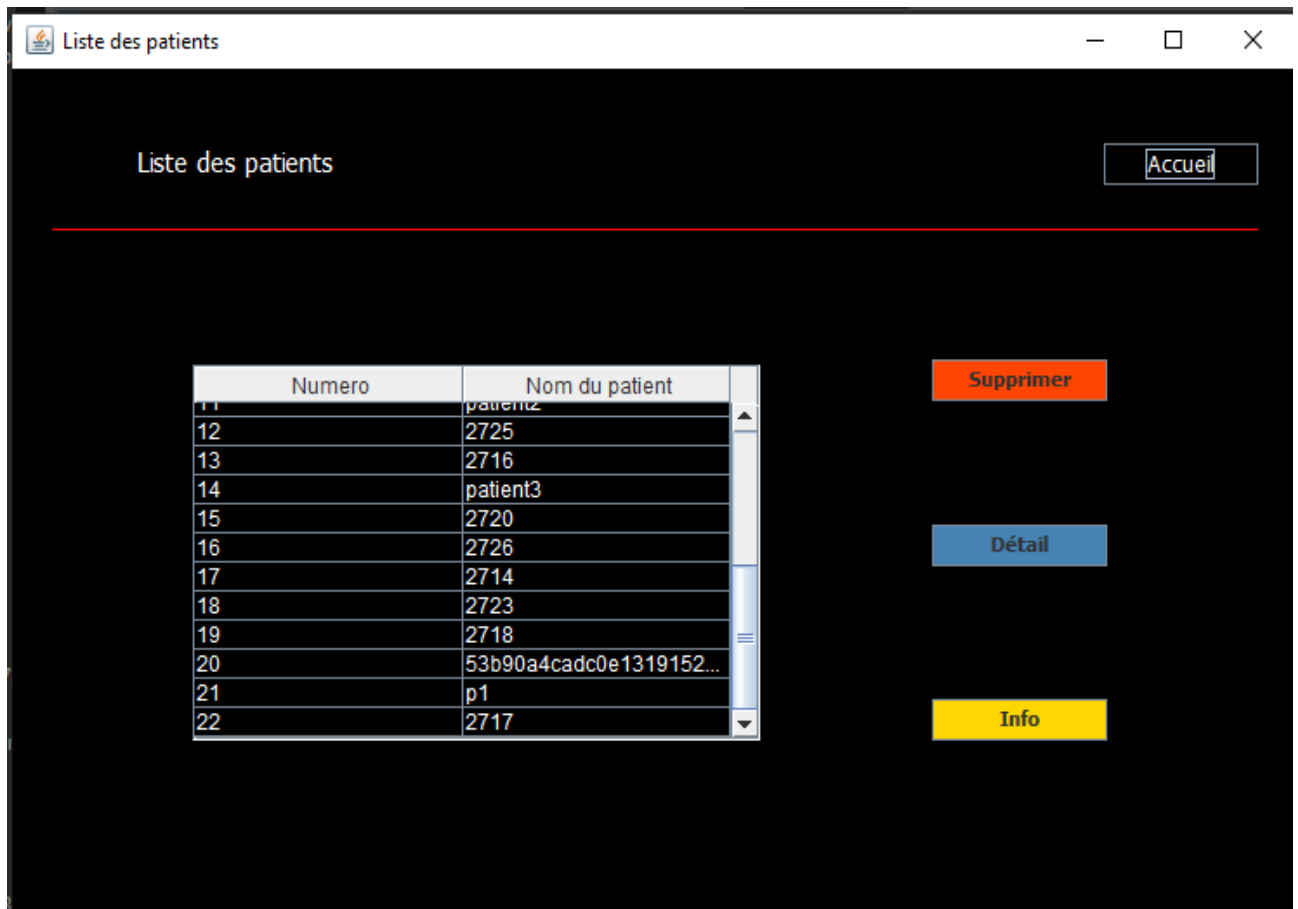


FIGURE 4.3 – interface liste des patients

L'interface "liste des patient" permet d'afficher tous les patients (par leur nom) existant dans la base de connaissances, on peut modifier tous les informations du patient (bouton modifier), afficher tous les détails du résultat de la prédiction (bouton détail figure détail), et supprimer un patient de la base de connaissance (bouton supprimer).

## 4.7.3 Ajouter patient

L'interface "ajouter patient" permet :

- D'insérer un nouveau patient et faire la prédiction.
- Afficher la prédiction par le pourcentage.
- Abandonner le nouveau patient.
- Sauvegarder le nouveau patient.
- Afficher le détail de la prédiction (figure détail).

Ajouter patient

+ nouveau Patient

Nom

Age

Sexe

Sys BP

Dia BP

rythme cardiaque

Bmi

cholestérol

Glucose

cigarettes par jour

Fume

Prévalence de l'AVC

Médicaments pour la pression artérielle

Prévalence de l'hypertension

Diabète

prédire

Accueil

Risque de maladie coronarienne

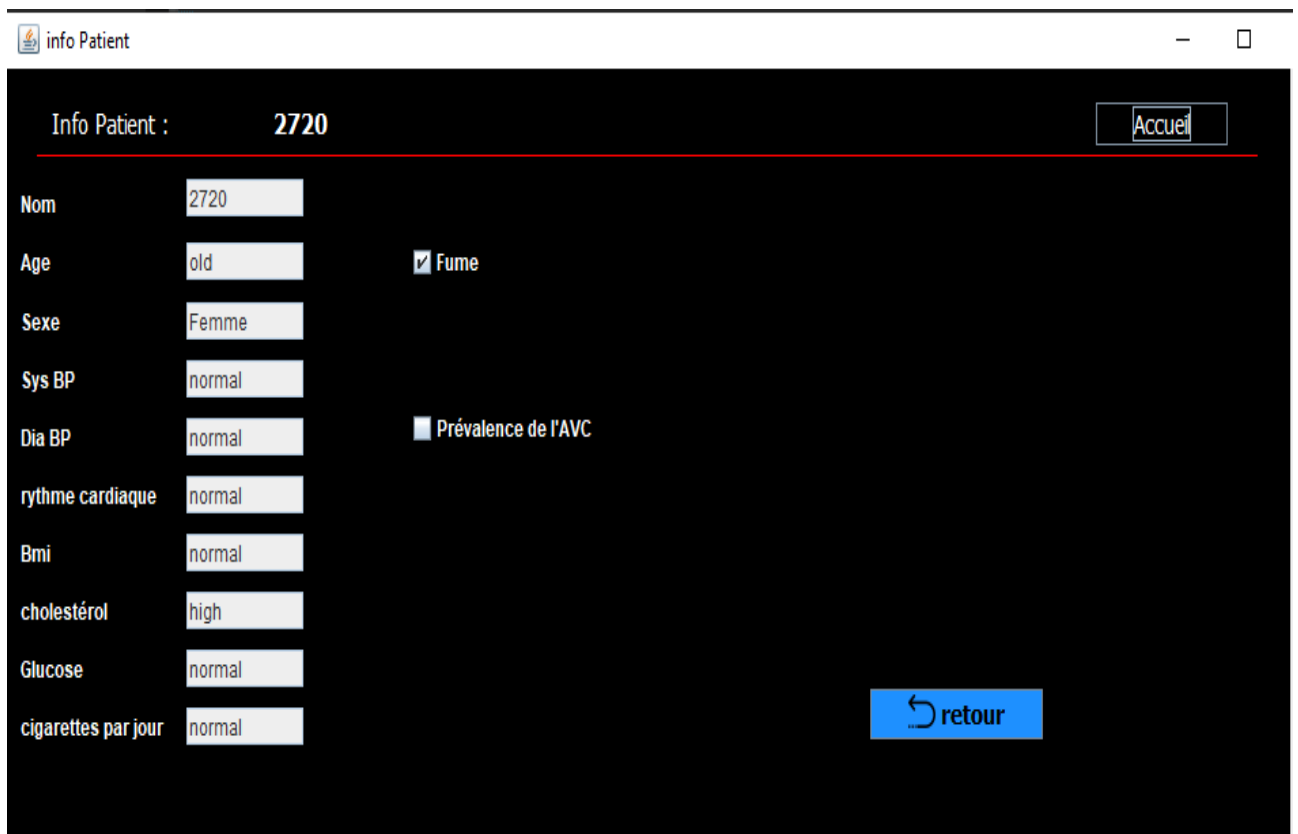
Vrai 70 %

Faux 30 %

supprimer sauvegarder Détails

FIGURE 4.4 – interface ajouter patient

## 4.7.4 Informations du patient



The screenshot shows a software window titled 'info Patient'. The main content area has a dark background with white text. At the top left, it says 'Info Patient : 2720'. At the top right, there is a button labeled 'Accueil'. Below this, there is a list of patient information items, each with a text input field. To the right of these items are two checkboxes: 'Fume' (checked) and 'Prévalence de l'AVC' (unchecked). At the bottom right, there is a blue button with a circular arrow icon and the text 'retour'.

Field	Value
Nom	2720
Age	old
Sexe	Femme
Sys BP	normal
Dia BP	normal
rythme cardiaque	normal
Bmi	normal
cholestérol	high
Glucose	normal
cigarettes par jour	normal

Additional information:  Fume,  Prévalence de l'AVC

FIGURE 4.5 – interface information patient

Cette interface permet d'afficher les informations en détail concernant le patient

## 4.7.5 Détail de la prédiction

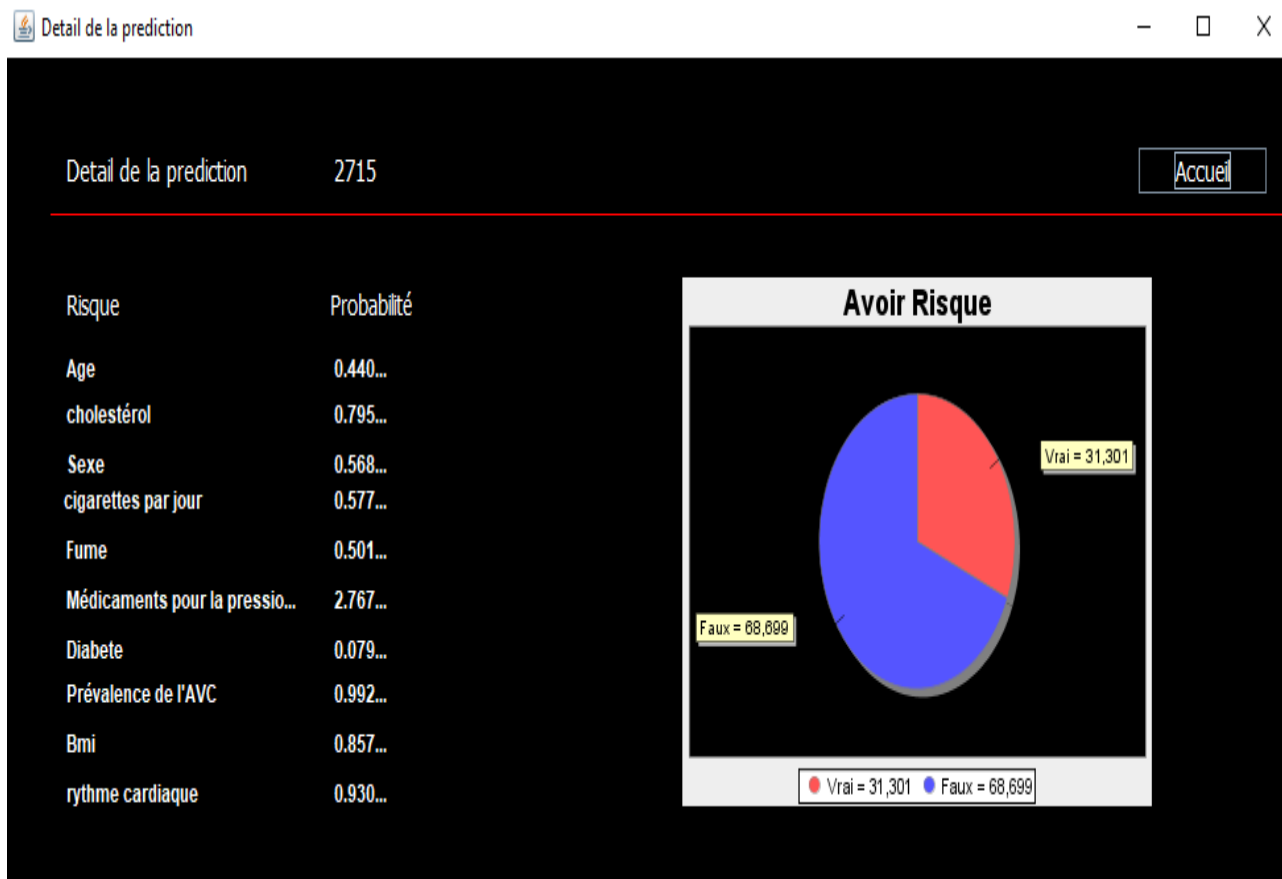


FIGURE 4.6 – interface Détail de prédiction

Cette interface permet d’afficher le détail de la prédiction du patient, et représenter le résultat par un camembert avec la probabilité si le patient peut avoir une maladie coronarienne.

## 4.8 La validation du système

La validation a pour objectif de garantir l’efficacité et la fiabilité du modèle et processus suivis.

	True	False
True	<i>TP</i>	<i>FP</i>
False	<i>FN</i>	<i>TN</i>

TABLE 4.1 – Matrice de confusion

- Le cas (True Positive) : sur les 108 patients qui peuvent avoir un risque d’MCV, 13 cas de résultats obtenues ont été détectés et validés similaires au data-set ce qui représente un pourcentage de 12% des cas.

- Le cas (False Positive) : sur les 108 patients qui peuvent avoir un risque d'MCV, 95 cas de résultats obtenues ont été détectés n'est pas similaires au data-set ce qui représente un pourcentage de 88% des cas.
- Le cas (False Negative) : sur les 568 patients qui ne peuvent pas avoir un risque d'MCV, 7 cas de résultats obtenues ont été détectés n'est pas similaires au data-set ce qui représente un pourcentage de 1.2% des cas.
- Le cas (True Negative) : sur les 568 patients qui ne peuvent pas avoir un risque d'MCV, 561 cas de résultats obtenues ont été détectés et validés similaires au data-set ce qui représente un pourcentage de 98.8% des cas.

Le total de ces états nous donne 574 (13 + 561) résultats obtenus similaires avec les patients du data-set qui est égale à 600 dans les deux cas ou les patients sont touchés ou non, avec **un pourcentage de précision générale de système : 84.91%**

$$\begin{aligned}
 \textit{precision} &= \frac{TP}{TP + FP} \\
 \textit{recall} &= \frac{TP}{TP + FN} \\
 F1 &= \frac{2 \times \textit{precision} \times \textit{recall}}{\textit{precision} + \textit{recall}} \\
 \textit{accuracy} &= \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP}
 \end{aligned}$$

FIGURE 4.7 – Formule mathématique pour calculer précision,rappel,F-mesure et accuracy

- TP : est le nombre des patients touchés par l'MCV, qui sont similaires au dataset
- TN : est le nombre des patients qui ne sont pas touchés par l'MCV et qui sont similaires au dataset
- FN : est le nombre des patients qui ne sont pas touchés par l'MCV et qui ne sont pas similaires au dataset
- FP : est le nombre des patients touchés par l'MCV, qui ne sont pas similaires au dataset



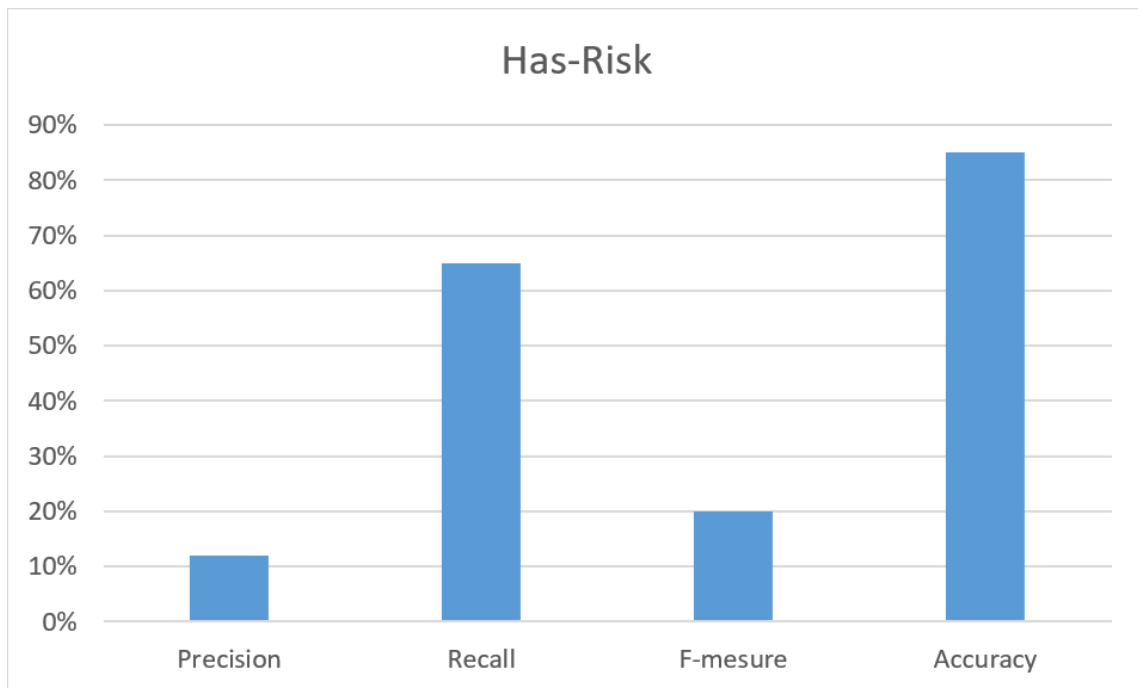


FIGURE 4.8 – Hitogramme precision, recall, F-mesure, accuracy

**Precision = 12%, Recall = 65%, F-mesure = 20%, Accuracy = 85%.**

- Précision : le système s’est entraîné sur des résultats positives inutiles plus que les résultats pertinents, cela a engendré une précision faible.
- Rappel : le taux de rappel est élevé à cause du taux d’erreur des valeurs négatives (patients sans risque d’MCV) minime .
- F-mesure : le taux de la F-mesure est faible à cause du taux faible de la précision.
- Accuracy : le taux d’accuracy du système est élevé avec un taux d’erreurs minimum.

## 4.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre raisonnement par des IHM graphiques à partir d’une ontologie probabiliste et une base de connaissances, et nous avons terminé par une validation qui montre l’efficacité du système.



---

# Conclusion et perspectives

---

Dans ce travail nous avons présenté un système d'aide au diagnostic médical et implémenter une ontologie probabiliste par le langage PR-OWL. Cette ontologie a permis de modéliser l'incertitude liée aux données issues des objets connectés médicaux et faire des raisonnements avec les connaissances collectées.

Le domaine médical est basé sur les diagnostics. Cependant les ontologies classiques n'intègrent pas de connaissances incertaines, alors que l'ontologie probabiliste joue un rôle important dans la représentation de l'incertitude.

Dans la première partie de ce travail nous avons présenté l'ontologie classique et probabiliste et le concept d'incertitude dont les ontologies classiques ne fournissent pas un support adéquat pour faire face à la connaissance incertaine. Les ontologies probabilistes jouent un rôle important dans la représentation de l'incertitude.

Nous avons présenté les notions de IOT, IOMT les termes, les concepts les plus importants, les outils et les travaux existants dans le domaine du diagnostic médical tel que les systèmes experts, et l'utilisation des ontologies dans les systèmes d'aide au diagnostic médical en s'intéressant en particulier à l'ontologie "HealthIot".

La deuxième partie est la création et la réalisation de notre ontologie probabiliste à l'aide de la méthodologie UMP-ST en suivant toutes ses étapes.

Le langage PR-OWL est un langage d'ontologie bayésien basé sur la logique MEBN qui fournit les moyens d'exprimer des théories probabilistes de premier ordre. La structure du MEBN a été modélisée à l'aide d'un expert du domaine, en précisant les différents facteurs de risques ainsi que les liens de causalité entre eux, Nous avons introduit l'outil unbbayes pour l'implémentation des ontologies probabilistes.

Notre cas d'étude sert à faire la prédication d'un patient a un risque d'atteindre la maladie cardio-vasculaire tout en sachant ses facteurs de risque et ses symptômes qui sont représentés sous la forme de nœuds résidents, et définit par distributions de probabilités locales (LPD).

Nous avons testé notre modèle sur plusieurs cas de test en validant les résultats avec des données réelles montrant ainsi à chaque fois l'efficacité des ontologies probabilistes dans la modélisation et le raisonnement sous incertitude.

Afin de réaliser notre conception nous avons implémenté notre système en portant notre nouvelle ontologie probabiliste, La validation des résultats de notre système donne de bonnes valeurs de précision.

La première perspective est d'améliorer et équilibrer le data-set par des valeurs positives afin de rendre notre système plus efficace avec des prédictions plus correctes.

La deuxième perspective est de créer des data-set contenant des données extraites à partir des capteurs réels, alors nous avons supposé que les données de notre data-set sont recueillis à partir des objets médicaux.

---

# Bibliographie

---

- [1] Protege-owl api programmer's guide, 2010.
- [2] Java : définition, 2019.
- [3] Maladie coronarienne fondation suisse de cardiologie, 2019.
- [4] Heart failure clinical records dataset, 2020.
- [5] Java technical details, 2021.
- [6] Marjan Alirezaie, Jennifer Renoux, Uwe Köckemann, Annica Kristoffersson, Lars Karlsson, Eva Blomqvist, Nicolas Tsiftes, Thiemo Voigt, and Amy Loutfi. An ontology-based context-aware system for smart homes : E-care@ home. *Sensors*, 17(7) :1586, 2017.
- [7] Omar AlShorman, Buthaynah AlShorman, Mahmood Alkhasaweneh, and Fahad Alkahtani. A review of internet of medical things (iomt)-based remote health monitoring through wearable sensors : A case study for diabetic patients. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 20(1) :414–422, 2020.
- [8] Balla Amar, MR Zerrouki Taha, Hadj henni M'hamed, Mr Hidouci Walid Khaled, and Mr Haddadou Hamid. Approche ontologique pour la modélisation sémantique, l'indexation et l'interrogation des documents coraniques.
- [9] Aleksandar Antonić, Martina Marjanović, Krešimir Pripužić, and Ivana Podnar Žarko. A mobile crowd sensing ecosystem enabled by cupus : Cloud-based publish/subscribe middleware for the internet of things. *Future Generation Computer Systems*, 56 :607–622, 2016.
- [10] J Arkko, A Keranen, and C Bormann. Internet engineering task force (ietf) c. jennings request for comments : 8428 cisco category : Standards track z. shelby. 2018.
- [11] Pierre-Jean Benghozi, Sylvain Bureau, and Françoise Massit-Folléa. *L'Internet des objets/The Internet of Things : Quels Enjeux Pour L'Europe ?/What Challenges for Europe ?* Les Editions de la MSH, 2009.

- [12] Dan Brickley. Rdf vocabulary description language 1.0 : Rdf schema. *http://www.w3.org/TR/rdf-schema/*, 2004.
- [13] Rommel N Carvalho, Kathryn B Laskey, and Paulo CG Da Costa. Uncertainty modeling process for semantic technology. *PeerJ Computer Science*, 2 :e77, 2016.
- [14] Davide Chicco and Giuseppe Jurman. Machine learning can predict survival of patients with heart failure from serum creatinine and ejection fraction alone. *BMC medical informatics and decision making*, 20(1) :16, 2020.
- [15] World Wide Web Consortium et al. Rdf 1.1 primer. 2014.
- [16] PC Costa and Kathryn B Laskey. Pr-owl : A framework for probabilistic. In *Formal Ontology in Information Systems : Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006)*, volume 150, page 237. IOS Press, 2006.
- [17] Paulo Cesar G Da Costa, Kathryn B Laskey, and Kenneth J Laskey. Pr-owl : A bayesian ontology language for the semantic web. In *Uncertainty Reasoning for the Semantic Web I*, pages 88–107. Springer, 2006.
- [18] Mauro AA da Cruz, Joel José PC Rodrigues, Jalal Al-Muhtadi, Valery V Korotaev, and Victor Hugo C de Albuquerque. A reference model for internet of things middleware. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2) :871–883, 2018.
- [19] Soumya Kanti Datta and Christian Bonnet. Connect and control things : integrating lightweight iot framework into a mobile application. In *2015 9th international conference on next generation mobile applications, services and technologies*, pages 66–71. IEEE, 2015.
- [20] Soumya Kanti Datta, Rui Pedro Ferreira Da Costa, Jérôme Härrri, and Christian Bonnet. Integrating connected vehicles in internet of things ecosystems : Challenges and solutions. In *2016 IEEE 17th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [21] PRESENTÉE POUR LE DIPLOME DE. *TOLERANCE A L'INCERTITUDE EN MEDECINE GENERALE Une démarche de théorisation ancrée à partir de 14 entretiens*. PhD thesis, UNIVERSITE DE STRASBOURG, 1985.
- [22] Damien De Nizza, James Ortiz, Hubert Meurisse, and Pierre-Yves Schobbens. Formalisation et construction d'une ontologie dans le domaine des infections orthopédiques. In *IC-24èmes Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances*, 2013.
- [23] Alicia S Devine, Barry J Knapp, Bruce M Lo, Michael Bono, Emily Harbin, David Jennings, Kaci Gogel, Sharita Johnson, Robert C Bernstein, Ramin Alimard, et al. Characteristics,

frequency, and disposition of patients with a heartmate ii left ventricular assist device presenting to the ed this article is adapted from preliminary data presented at the 2012 american college of emergency physicians' research forum. *Emergency Medicine*, 50(2) :49–56, 2018.

- [24] Didier Dubois and Henri Prade. La problématique scientifique du traitement de l'information. *Information-Interaction-Intelligence*, 1(2) :79–98, 2001.
- [25] Shaker El-Sappagh, Mohammed Elmogy, Farman Ali, Tamer Abuhmed, SM Islam, and Kyung-Sup Kwak. A comprehensive medical decision–support framework based on a heterogeneous ensemble classifier for diabetes prediction. *Electronics*, 8(6) :635, 2019.
- [26] Bahar Farahani, Farshad Firouzi, Victor Chang, Mustafa Badaroglu, Nicholas Constant, and Kunal Mankodiya. Towards fog-driven iot ehealth : Promises and challenges of iot in medicine and healthcare. *Future Generation Computer Systems*, 78 :659–676, 2018.
- [27] Jorge Gómez, Byron Oviedo, and Emilio Zhuma. Patient monitoring system based on internet of things. *Procedia Computer Science*, 83 :90–97, 2016.
- [28] Asunción Gómez-Pérez, Mariano Fernández-López, and Oscar Corcho. *Ontological Engineering : with examples from the areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [29] Tom Gruber. What is an ontology, 1993.
- [30] Azoune S Houacine, T. *Construction et exploitation d'une ontologie dans le domaine de lutte antiacridienne*. PhD thesis, 2008.
- [31] Rolly Intan, Chi-Hung Chi, Henry N Palit, and Leo W Santoso. *Intelligence in the Era of Big Data : 4th International Conference on Soft Computing, Intelligent Systems, and Information Technology, ICSIT 2015, Bali, Indonesia, March 11-14, 2015. Proceedings*, volume 516. Springer, 2015.
- [32] Bhaskar Kapoor and Savita Sharma. A comparative study ontology building tools for semantic web applications. *International Journal of Web & Semantic Technology*, 1(3) :1–13, 2010.
- [33] Kathryn B Laskey, Richard Haberlin, Rommel N Carvalho, and Paulo Cesar G da Costa. Pr-owl 2 case study : A maritime domain probabilistic ontology. In *STIDS*, pages 76–83, 2011.
- [34] Kathryn Blackmond Laskey. Mebn : A language for first-order bayesian knowledge bases. *Artificial intelligence*, 172(2-3) :140–178, 2008.

- [35] Kathryn Blackmond Laskey, Paulo CG Costa, and Terry Janssen. Probabilistic ontologies for knowledge fusion. In *2008 11th international conference on information fusion*, pages 1–8. IEEE, 2008.
- [36] Kathryn Blackmond Laskey, Paulo CG Costa, and Terry Janssen. Probabilistic ontologies for multi-int fusion. *Ontologies and Semantic Technologies for Intelligence*, 213(147) :2, 2010.
- [37] B Mallikarjuna and D Arun Kumar Reddy. Healthcare application development in mobile and cloud environments. In *Internet of Things and Personalized Healthcare Systems*, pages 93–103. Springer, 2019.
- [38] Gunasekaran Manogaran, Ramachandran Varatharajan, Daphne Lopez, Priyan Malarvizhi Kumar, Revathi Sundarasekar, and Chandu Thota. A new architecture of internet of things and big data ecosystem for secured smart healthcare monitoring and alerting system. *Future Generation Computer Systems*, 82 :375–387, 2018.
- [39] Shou Matsumoto, Rommel Novaes Carvalho, Marcelo Ladeira, Paulo CG Costa, Laécio Lima Santos, Danilo Silva, Michael Onishi, Emerson Machado, and Ke Cai. Unbbayes : a java framework for probabilistic models in ai. *Java in academia and research*, page 34, 2011.
- [40] João Moreira, Luís Ferreira Pires, Marten Van Sinderen, Laura Daniele, and Marc Girod-Genet. Saref4health : Towards iot standard-based ontology-driven cardiac e-health systems. *Applied Ontology*, (Preprint) :1–26, 2020.
- [41] Srijani Mukherjee, Koustabh Dolui, and Soumya Kanti Datta. Patient health management system using e-health monitoring architecture. In *2014 IEEE international advance computing conference (IACC)*, pages 400–405. IEEE, 2014.
- [42] Semantic Sensor Network Ontology. W3c. *OGC Recommendation*, 19, 2017.
- [43] World Health Organization. About cardiovascular diseases. 2012.
- [44] Carlos Pereira, Samuel Frade, Pedro Brandão, Ricardo Correia, and Ana Aguiar. Integrating data and network standards into an interoperable e-health solution. In *2014 IEEE 16th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*, pages 99–104. IEEE, 2014.
- [45] Valéry Psyché, Olavo Mendes, and Jacqueline Bourdeau. *Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance*. PhD thesis, 2003.
- [46] Amir M Rahmani, Tuan Nguyen Gia, Behailu Negash, Arman Anzanpour, Iman Azimi, Mingzhe Jiang, and Pasi Liljeberg. Exploiting smart e-health gateways at the edge of



- healthcare internet-of-things : A fog computing approach. *Future Generation Computer Systems*, 78 :641–658, 2018.
- [47] Ahlem Rhayem, Mohamed Ben Ahmed Mhiri, Khalil Drira, Said Tazi, and Faiez Gargouri. A semantic-enabled and context-aware monitoring system for the internet of medical things. *Expert Systems*, 38(2) :e12629, 2021.
- [48] Jesús Noel Sáez Rubí and Paulo Roberto de Lira Gondim. Interoperable internet of medical things platform for e-health applications. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16(1) :1550147719889591, 2020.
- [49] CR Srinivasan, B Rajesh, P Saikalyan, K Premsagar, and Eadala Sarath Yadav. A review on the different types of internet of things (iot). *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(1) :154–158, 2019.
- [50] Steffen Staab and Alexander Maedche. Ontology engineering beyond the modeling of concepts and relations. In *Proceedings of the ECAI-2000 Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods. Berlin*, volume 22, 2000.
- [51] Smiju Sudevan and Mani Joseph. Internet of things : Incorporation into healthcare monitoring. In *2019 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)*, pages 1–4. IEEE, 2019.
- [52] Hannes Tschofenig, Jari Arkko, Dave Thaler, and D McPherson. Architectural considerations in smart object networking. *RFC 7452*, 2015.
- [53] Ismael Villanueva-Miranda, Homer Nazeran, and Radek Martinek. A semantic interoperability approach to heterogeneous internet of medical things (iomt) platforms. In *2018 IEEE 20th international conference on e-Health networking, applications and services (HealthCom)*, pages 1–5. IEEE, 2018.
- [54] Rouaa Wannous, Jamal Malki, Alain Bouju, and Cécile Vincent. Modelling mobile object activities based on trajectory ontology rules considering spatial relationship rules. In *Modeling approaches and algorithms for advanced computer applications*, pages 249–258. Springer, 2013.