

**FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET
DE L'INFORMATIQUE**

DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

N° :



**DOMAINE : MATHÉMATIQUE ET
INFORMATIQUE**

FILIERE : INFORMATIQUE

OPTION : INFORMATIQUE

DÉCISIONNELLE ET OPTIMISATION

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : ABBADI Ahmed

Intitulé

Une ontologie floue pour l'aid au diagnostic médical

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. ATTIR Azzedine	Université de M'sila	Président
Mr. BOUGHERARA Seddik	Université de M'sila	Rapporteur
Mr. THERAFI Abdellah	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

**FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET
DE L'INFORMATIQUE**

DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

N° :



**DOMAINE : MATHÉMATIQUE ET
INFORMATIQUE**

FILIERE : INFORMATIQUE

OPTION : INFORMATIQUE

DÉCISIONNELLE ET OPTIMISATION

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : ABBADI Ahmed

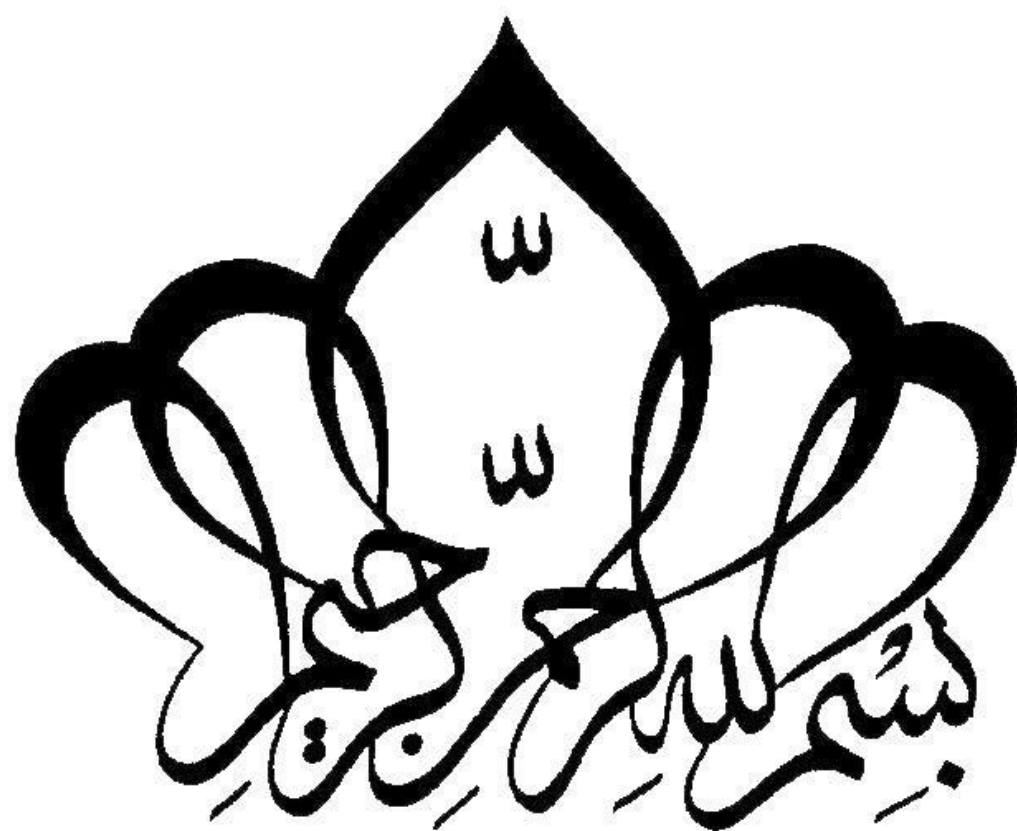
Intitulé

Une ontologie floue pour l'aid au diagnostic médical

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. ATTIR Azzedine	Université de M'sila	Président
Mr. BOUGHERARA Seddik	Université de M'sila	Rapporteur
Mr. THERAFI Abdellah	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*À tous les membres de ma famille pour leur soutien continu et
je leurs souhaite bonne santé et long vie*

*À tous mes amis, Surtout à mes amis Majidi Elyazid, Saadone
Billal et Bendakmous Houssam Qui étaient mes compagnons
pendant les années universitaires*

*À tous mes enseignants, Qui nous ont donné beaucoup
d'informations et de conseils*

*Je dédie ce travail aussi à tous ceux qui ont contribué à
l'achèvement de ce travail.*

Abbadî Ahmed.



Remerciements

Avant tout on tient notre remerciement à notre Dieu tout puissant de nous avoir donné la foi, patience, force et volonté pour accomplir ce travail

Je remercie mon encadreur Mr BOUGHARRA SEDDIK de me suivre et de ses précieux conseils

Je remercie tous les membres de jury qui vont examiner notre projet

Je voudrais également remercier tous les enseignants du département d'informatique et remercier toutes les personnes qui nous ont aidés au cours de ces années.

Merci infiniment.

Abbadî Ahmed.

TABLE DES MATIERS

LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES ABREVIATIONS	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1 : LE WEB SEMANTIQUE ET L'ONTOLOGIE	
Introduction	4
1. Historique	4
2. Web sémantique	5
3. Les composantes principales du web sémantique	5
4. Notion de terme « ontologie »	6
4.1 Définition 1	6
4.2 Définition 2	7
4.3 Définition 3	7
4.4 Rôles d'ontologie:	8
4.5 Composants d'ontologie	9
4.5.1 Concept	9
4.5.2 Relation	9
4.5.3 Axiome	9
4.5.4 Fonction	9
4.5.5 Instance	10
4.6 Classifications d'ontologies	10
4.6.1 Classification selon l'objet de conceptualisation	10
4.6.2 Classification selon le niveau de complétude	11
4.6.3 Classification selon le niveau de détail	11
4.6.4 Classification selon le formalisme utilisé	12

5.	Le cycle de vie des ontologies.....	12
5.1	Besoins et évaluation	13
5.2	Conception et évolution	13
5.3	Diffusion	14
5.4	Utilisation.....	14
6.	Les méthodes d'ingénierie ontologique	15
6.1	La méthode de Bachimont	15
6.2	La méthode METHONTOLOGY	16
7.	Outils de développement d'ontologie	17
7.1	Les langages de spécification d'ontologies	18
7.1.1	RDF	18
7.1.2	RDFS	19
7.1.3	Le langage OWL	19
7.2	Les moteurs d'inférences	20
8.	Conclusion.....	20
CHAPITRE 2 : DIAGNOSTIC MEDICAL		
	Introduction	22
1.	Définition	22
1.1	Le signe et le symptôme	22
1.1.1	Le signe positif	23
1.1.2	Le signe négatif	23
1.2	Le syndrome	23
1.3	La maladie.....	23
1.4	Le diagnostic médical	23
1.4.1	Le raisonnement déductif	24
1.4.2	Le raisonnement inductif	25
1.4.3	Le raisonnement abductif	25
1.5	La sémiologie.....	26

2.	Présentation générale de système d'aide à de diagnostic médicale	26
2.1	Les systèmes experts pour l'aide à la Diagnostic médicale	26
2.2	Les définitions d'un système expert	27
2.3	Structure d'un système expert.....	27
2.4	Quelques systèmes experts dans le domaine médical.....	29
2.5	Système d'aide au diagnostic médical à base d'ontologie.....	31

3.	Conclusion.....	31
----	-----------------	----

CHAPITRE 3 : LOGIQUE FLOUE ET INCERTITUDE

Introduction	32
1. Définition	32
1.1 Méthodes pour gérer l'incertitude.....	33
1.1.1. Logique floue.....	33
1.1.2. Probabilités	33
1.1.3. Les fonctions de croyance	33
1.2 Représentation des connaissances et incertitude	33
2. La logique floue	34
2.1 Logique classique vs logique floue.....	34
2.2 Concepts ET definitions.....	37
2.2.1 Sous-ensembles flous	37
2.2.2 Opérations sur les sous-ensembles flous	38
2.2.3 Opérateur logique l'intersection(ET)	39
2.2.4 Opérateur logique Union (OU).....	40
2.2.5 Opérateur logique complément (NOT).....	41
2.2.6 Variables linguistiques	42
2.3 Système d'inférence floue.....	43
2.3.1 Fuzzification	43
2.3.2 Règles floues	44
2.3.3 Inférence floue.....	44
2.3.3.1 Inférence floue de Mamdani.....	44

2.3.3.2	Inférence floue de Sugeno	45
2.3.4	Defuzzification	45
3.	Conclusion.....	45
CHAPITRE 4 : LES ONTOLOGIES FLOUES		
	Introduction	46
1.	Définition d'ontologies floues.....	46
2.	Différences entre l'ontologie floue et l'ontologie classique	46
3.	Les composants des ontologies floues	47
3.1.	Les concepts flous.....	47
3.2.	Les relations floues	48
3.3.	Les axiomes	49
3.4.	Les instances	49
4.	Approche de la construction des composants d'ontologies floues.....	50
5.	Logiques de descriptions	51
5.1.	Famille des langages des logiques de descriptions	53
5.1.1.	La syntaxe d' $\mathcal{AL}$	54
5.1.2.	La syntaxe de SHIQ.....	55
5.1.3.	La sémantique de SHIQ.....	56
5.1.4.	La syntaxe d' $\mathcal{AL}^C$	56
5.1.5.	La sémantique d' $\mathcal{AL}$	56
5.1.6.	Les extensions d' $\mathcal{AL}$	57
6.	Logiques de descriptions floues	58
6.1.	La sémantique des logiques de descriptions floues	59
6.2.	Les moyens de logiques de descriptions floues	61
7.	Conclusion.....	62
CHAPITRE 5 : CONCEPTION ET RÉALISATION		

Introduction	63
1 Choix de la méthode de construction de notre ontologie	63
2 Étapes du processus de construction de notre ontologie	63
2.1 Évaluation des besoins	64
2.1.1 Diagramme de cas d'utilisation.....	66
2.1.2 Diagramme de séquence ajouter une patient	66
2.1.3 Diagramme de classe	67
2.2 Conceptualisation.....	67
2.2.1 Construction du glossaire des termes	68
2.2.2 Construction de la taxonomie de concepts	68
2.2.3 Construction du dictionnaire des concepts précis.....	69
2.2.4 Construction du tableau des relations binaires (Précises)	70
2.2.5 Construction du tableau des attributs d'instances	71
2.2.6 Construction du tableau des attributs des classes	71
2.2.7 Table des instances des concepts précis	71
2.2.8 Table des assertions floues	72
2.2.9 Construction de la partie floue.....	72
2.3 Formalisation	73
2.3.1 Représentation de la partie terminologique (T-Box).....	73
2.3.2 Représentation de la partie assertionnelle (A-Box).....	75
2.4 Implémentation	75
2.4.1 Outils de programmation	76
2.4.2 Langages web sémantique	84
2.4.3 Langage de programmation	86
2.5 Vérification	86
2.5.1 Tester l'ontologie à travers des requêtes	86
3 L'interface de l'application	87
4 Conclusion.....	87
CONCLUSION GÉNÉRALE	88

BIBLIOGRAPHIES	89
----------------------	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1 : Les couches du Web Sémantique .	6
Figure 1. 2 : Le cycle de vie d'une ontologie	13
Figure 1. 3 : Processus de la méthode Bachimont	16
Figure 1. 4 : Processus et cycle de vie de la méthode METHONTOLOGY	17
Figure 1.5 : La pyramide des langages du Web sémantique	18
Figure 1. 6 : Les sous langages OWL	19
Figure 2. 1 : Architecture d'un Système Expert	28
Figure 3. 1 : Classification des températures d'une pièce en deux sous-ensembles	35
Figure 3. 2 : Exemple d'ensembles considérés en logique booléenne	36
Figure 3. 3 : Exemple d'ensembles considérés en logique floue	36
Figure 3. 4 : la différence entre un ensemble classique et l'ensemble floue	37
Figure 3. 5 : Ensemble flou par sa fonction d'appartenance.	38
Figure 3. 6 : Illustre l'opérateur < ET > entre les ensembles flous A et B	40
Figure 3. 7 : Union des ensembles flous A et B	41
Figure 3. 8 : Complément de l'ensemble flou A	42
Figure 3. 9 : Variables linguistiques (V, T(V), X) pour décrire la température	43
Figure 4. 1 : Concepts flous.	48
Figure 4. 2 : Relation floue	49
Figure 4. 3 : Approche de construction des composants d'ontologies floues	51
Figure 4. 4 : La grammaire des expressions conceptuelles selon AL	54
Figure 4. 5 : Sémantique de la logique AL	57
Figure 4. 6 : Equations de l'interprétation standard	60
Figure 5. 1 : Les fonctions d'appartenances des classes floues du concept Patient.	65
Figure 5. 2 : Diagramme de cas d'utilisation.	66
Figure 5. 3 : Ajouter une patient.	67
Figure 5. 4 : Hiérarchie de concepts.	69
Figure 5. 5 : Diagramme de relations binaires.	70
Figure 5. 6 : Définition des relations.	74
Figure 5. 7 : Interface graphique de Protégé 4.3.	76

Figure 5. 8 : Hiérarchie de classes.....	77
Figure 5. 9 : Relations entre concepts.	77
Figure 5. 10 : Les instances de concepts.	78
Figure 5. 11 : Gurobi 4.6.1 après l'activation.	79
Figure 5. 12 : L'onglet de Fuzzy OWL 2 plugin.	80
Figure 5. 13 : Menu des options de plugin Fuzzy OWL 2.	80
Figure 5. 14 : Création d'un type de données flou avec le plug-in.	83
Figure 5. 15 : Des requêtes de fuzzy DL raisonneur.	84
Figure 5. 16 : Exemple code de langage OWL.	85
Figure 5. 17 : Test d'ontologie avec fuzzyDL Reasoner Query.	86
Figure 5. 18 : Une partie d'application.	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. 1 : Les principaux moteurs d'inférence	20
Tableau 2. 1 : Table de raisonnement conditionnel d'inférences valides	25
Tableau 2. 2 : Quelques systèmes experts médicaux	31
Tableau 3. 1 : Table des logiques floues	39
Tableau 3. 2 : Table de vérité de l'opérateur logique < ET > classique.	39
Tableau 3. 3 : Table de vérité de l'opérateur logique < OU > classique.	40
Tableau 3. 4 : Table de vérité de l'opérateur logique < NON > classique.	41
Tableau 3. 5 : Tableau résume les opérateurs flous.	42
Tableau 4. 1 : Les principales différences entre l'ontologie floue et l'ontologie classique	47
Tableau 4. 2 : Une base de connaissances composée d'une T-Box et d'une A-Box	52
Tableau 4. 3 : La grammaire des expressions conceptuelles selon SHIQ	55
Tableau 4. 4 : Sémantique de la logique SHIQ	56
Tableau 4. 5 : La grammaire des expressions conceptuelles selon ALC	56
Tableau 4. 6 : Exemple de constructeurs de rôles et concepts pour étendre AL	58
Tableau 5. 1 : Glossaire de termes.	68
Tableau 5. 2 : Dictionnaire des concepts précis.	69
Tableau 5. 3 : tableau des attributs d'instances.	71
Tableau 5. 4 : Tableau des attributs de classe.	71
Tableau 5. 5 : Instances des concepts précis.	71
Tableau 5. 6 : Table des assertions floues.	72
Tableau 5. 7 : Les types de données floues.	73
Tableau 5. 8 : Définition des concepts précis.	74
Tableau 5. 9 : Inclusion des concepts.	75
Tableau 5. 10 : La partie assertionnelle (A-Box).	75
Tableau 5. 11 : Des options du menu de plugin OWL 2.	82

LISTE DES ABREVIATIONS

DAML+OIL : Darapa Agent Markup Language OIL	18
OIL : Ontology Inference Layer	18
OML : Ontology Markup Language.....	18
OWL : Ontology Web Language.....	14
OWL DL : Ontology Web Language Description Logique	19
RDF : Resource Description Framework	5
RDF(S) : Resource Description Framework Schema.....	14
SHOE : Simple HTML Ontology Extensions	18
W3C : World Wide Web Consortium	5
XML : EXtnsible Markup Language.....	5
XOL : XML – based Ontology exchange Language.....	18
$\mathcal{AL} C$: Attributive Language Complémentation	53
DL : Description Logic.....	46
LDs : Les Logiques de Descriptions	61
A-Box : Assertion Component	75
ARN : L'acide Ribonucléique.....	64
EDI : Environnement de Développement Intégré	84
JVM : Java Virtual Machine.....	76
MILP : Mixed Integer Linear Programming	83
T-Box : Terminological Component	73
UML : Unified Modeling Language.....	65

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La représentation des connaissances dans le domaine médical est devenue une préoccupation majeure pour les chercheurs, en raison de l'importance de ce domaine dans la vie humaine. Avec le développement de la science et en particulier de l'informatique, le domaine du diagnostic médical a beaucoup évolué. Au cours des dernières années, après l'émergence du Web sémantique, l'ontologie a été largement utilisée, en particulier dans le domaine du diagnostic médical, comme il présente plusieurs avantages adaptés à ce domaine, notamment la facilité de maintenance de la base de connaissances et de l'organisation des entrepôts de données, l'intégration des données entre systèmes, la prise de décision et l'accès aux informations pertinentes sur le Web.

La représentation des connaissances dans le domaine du diagnostic médical ou dans d'autres domaines n'est pas une tâche facile. Parce que les informations manipulées sont le plus souvent imparfaites qui incluent les imperfections. Ces imperfections se manifestent sous de multiples formes : ambiguïté, imprécision et incertitude, il y a plusieurs méthodes et technique ont été proposée pour remédier a ce problème tel que la logique floue, logique possibiliste, fonctions de croyance et probabilités.

La logique floue est un paradigme informatique qui fournit un outil mathématique permettant de traiter l'incertitude et l'imprécision typiques du raisonnement humain. L'une des principales caractéristiques de la logique floue est sa capacité à exprimer les connaissances de manière linguistique, ce qui permet de décrire un système à l'aide de règles simples et conviviales.

Spécification explicite d'une conceptualisation partagée, constituent un élément clé du Web sémantique, facilitant une représentation des informations exploitable par une machine. Les méthodes logiques à deux valeurs ne suffisent pas pour traiter des informations mal structurées, incertaines ou imprécises rencontrées dans la connaissance du monde réel. Une tolérance à l'imprécision, par une utilisation positive de la logique floue, peut être mise à profit pour renforcer le pouvoir du Web sémantique. Il a été démontré que logique floue permet de combler le fossé entre la logique logicielle compréhensible pour l'homme et la logique matérielle lisible

par machine. En effet, il y a eu une intégration naturelle de la logique floue en ontologie afin de définir un nouveau paradigme théorique appelé ontologie floue.

Problématique et objectifs du travail

L'informatique est l'une des sciences à la croissance la plus rapide, en particulier ces derniers temps. Parmi ces sciences, les ontologies, et tout particulièrement les ontologies floues, sont devenues l'un des domaines prometteurs en raison de leur grande adaptabilité, robustesse et flexibilité, et des capacités de raisonnement qu'elles pourraient fournir aux outils informatiques, elle présente également un potentiel considérable dans le domaine médical, car elle a la capacité d'aider au diagnostic médical. Le problème posé est comment l'ontologie floue aide au diagnostic médical ? Dans ce mémoire nous allons répondre à cette problématique en démontrant et en soulignant les avantages de logique floue en ontologie, implémentation d'une ontologie floue pour résoudre les problèmes d'incertitude et l'imprécision dans le domaine du diagnostic médical.

Plan du mémoire

Le mémoire est constitué d'une introduction générale, de cinq chapitres et d'une conclusion générale qui résume notre travail et présente quelques perspectives.

Chapitre 1 : Le web sémantique et l'ontologie

Dans ce chapitre, nous présentons vue générale sur le web sémantique et les ontologies, ainsi que les composants de l'ontologie et classifications d'ontologies et aussi le cycle de vie des ontologies et le processus de construction d'ontologie et en fin les outils de développement d'ontologie y compris les langages de spécification d'ontologies et Les moteurs d'inférences.

Chapitre 2 : Diagnostic médical

Dans ce chapitre nous donnons quelque définitions dans le domaine de diagnostic médicale telle que symptôme et maladie, enfin, nous Présentons la notion de système d'aide au diagnostic médicale.

Chapitre 3 : Logique floue et l'incertitude

Le but de ce chapitre est de présenter quelques définitions sur l'incertitude et les différentes entre la logique classique et la logique floue, ainsi quelques concepts et définitions sur la logique floue et classique, enfin nous expliquons Le contrôleur à logique flous.

Chapitre 4 : Les ontologies floues

Dans ce chapitre, nous décrivons d'abord la définition générale d'ontologie floue ainsi les différences entre l'ontologie classique et l'ontologie floue, Les composants et Approche de la

construction des composants d'ontologies floues, enfin nous présentons des logiques de descriptions floues.

Chapitre 5 : Conception et réalisation

Ce chapitre comprend le travail pratique de ce mémoire, qui consiste les étapes de la construction de notre ontologie floue avec définition des outils de programmation et les langages utilisés dans ce travail.

CHAPITRE 1

LE WEB SEMANTIQUE ET L'ONTOLOGIE

Introduction

Sur le Web sémantique, les vocabulaires définissent les concepts et les relations utilisés pour décrire et représenter un domaine de préoccupation. Les vocabulaires servent à classifier les termes pouvant être utilisés dans une application particulière, à caractériser les relations possibles et à définir les contraintes possibles d'utilisation de ces termes. En pratique, les vocabulaires peuvent être très complexes ou très simples.

Il n'y a pas de division claire entre ce que l'on appelle les «vocabulaires» et les «ontologies». La tendance est d'utiliser le mot «ontologie» pour désigner un ensemble de termes plus complexe et peut-être assez formel, alors que le terme «vocabulaire» est utilisé lorsque ce formalisme strict n'est pas nécessairement utilisé ou n'est utilisé que dans un sens très vague. Les vocabulaires sont les éléments de base des techniques d'inférence sur le Web sémantique.

Dans ce chapitre, nous allons présenter la notion du web sémantique et leur architecteur, la définition de la notion d'ontologie et le rôle des ontologies. Nous présentons aussi les différents composants d'ontologie et nous décrivons les différents types d'ontologies ainsi que leurs cycle de vie, Les méthodologies, les outils de construction d'ontologies et les langages de construction des ontologies.

1. Historique

À l'origine, l'ontologie est une notion philosophique, et on considérait que l'étude de l'ontologie était une partie de la métaphysique, qui s'intéresse à l'étude des propriétés de l'être, et par extension de l'existence.

Le mot ontologie provient du grec «onto» qui signifie ce qui existe, comme l'être, et l'existant, et «logos» qui veut dire étude.

John McCarthy a introduit l'ontologie en intelligence artificielle en 1980, par le principe que les concepteurs de systèmes intelligents fondés sur la logique devraient d'abord établir une base de données complète de ce qui existe, et ensuite utiliser ces données. Les ontologies sont

apparues en intelligence artificielle, comme réponses aux problématiques de représentation et de manipulation des connaissances au sein des systèmes informatiques [1].

2. Web sémantique

Le Web sémantique désigne un ensemble de technologies visant à rendre le contenu des ressources du World Wide Web (W3C) accessible et utilisable par les programmes et agents logiciels, grâce à un système de métadonnées formelles.

Le Web Sémantique doit permettre de porter le Web actuel à son plein potentiel. Le Web actuel est principalement tourné vers les êtres humains. L'objectif du Web Sémantique est de rendre le contenu du Web compréhensible à des machines. Le procédé consiste à exploiter:

- Des ontologies, une ontologie est un vocabulaire constitué de concepts, de relations et des axiomes liés à un certain domaine. Gruber définit une ontologie comme étant « la spécification d'une conceptualisation ».
- Un langage commun pour exprimer les ontologies et décrire des annotations utilisant les termes de ces ontologies.
- Des moteurs de raisonnement permettant d'inférer sur les annotations d'après les axiomes déclarés dans les ontologies [2].

3. Les composantes principales du web sémantique

Les travaux visant la réalisation du Web sémantique se situent à des niveaux de complexité très différents. Les plus simples utilisent des jeux plus ou moins réduits de méta-données dans un contexte de recherche d'information ou pour adapter la présentation des informations aux utilisateurs. Dans ce cas, des langages de représentation simples sont suffisants. Dans les travaux plus complexes mettant en œuvre des architectures sophistiquées, pour permettre par exemple l'exploitation de ressources hétérogènes, des langages plus expressifs et plus formels issus des travaux en représentation et en ingénierie des connaissances, sont nécessaires [3].

La liste suivante introduit la fonction principale de chaque couche dans l'architecture du web sémantique :

- ✓ XML est utilisé comme couche de base syntaxique du web sémantique. Le langage XML est actuellement considéré comme un standard pour le transport de données sur le web.
- ✓ La couche RDF représente les métadonnées pour les ressources web.
- ✓ La couche « ontologie », fondée sur une formalisation commune, spécifie la sémantique de métadonnées fournies dans le web sémantique.
- ✓ La couche « logique » s'appuie sur des règles d'inférence qui permettent le raisonnement intelligent exécuté par des agents logiciels [4].

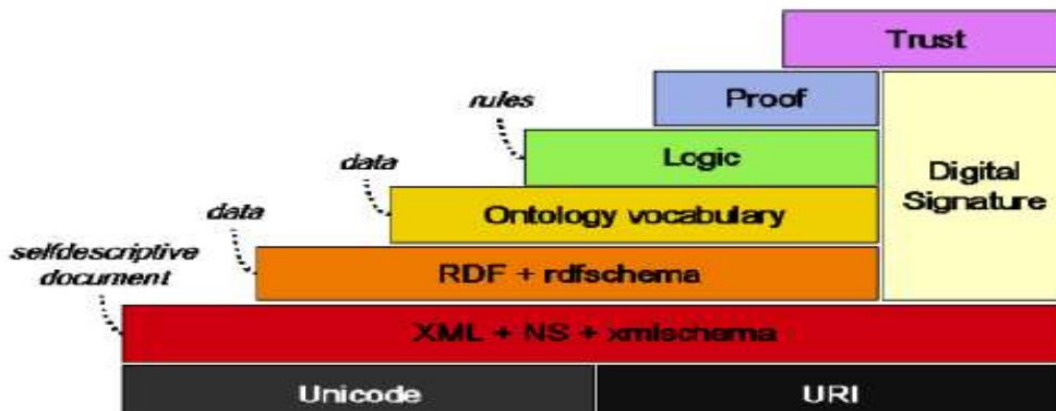


Figure 1. 1 : Les couches du Web Sémantique [3].

4. Notion de terme « ontologie »

4.1 Définition 1

Terme ontologie est construit à partir des racines grecques « onto » qui veut dire ce qui existe, l'être, l'existant, et « logos » qui veut dire l'étude, le discours, d'où sa traduction par « l'étude de l'être » et par extension de l'existence , nous pouvons dire que le mot « ontologie » provient du domaine de la philosophie, qui sert à désigner une théorie basée sur l'étude de l'être, d'une coté, et il peut aussi être interprété comme l'ensemble de ce qui existe avec ses relations, restrictions, axiomes et vocabulaires dans le domaine de l'Intelligence Artificiel [5].

Dans le cadre de l'intelligence artificielle Neeches et ses collègues furent les premiers à proposer une définition à savoir « une ontologie définit les termes et les relations de base de vocabulaire d'un domaine, ainsi que les règles qui indiquent comment combiner les termes et les relations de façon à pouvoir étendre le vocabulaire» [1].

4.2 Définition 2

Une ontologie est souvent considérée comme un système d'information, comme le reflète cette définition générale d'ontologie « une ontologie est une spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée », avec les significations suivantes :

- **Le mot formelle** : se rapporte au fait que l'ontologie devrait être compréhensible par une machine.
- **Le mot explicite** : signifie que le type des concepts utilisés, et les contraintes sur leur utilisation sont explicitement définis.
- **Le mot conceptualisation** : signifie qu'un modèle abstrait des phénomènes est identifié par des concepts appropriés à ces phénomènes.
- **Le mot partagée** : reflète que l'ontologie devrait capturer la connaissance consensuelle admise par les communautés [6].

4.3 Définition 3

Historiquement, le terme ontologie a tout d'abord été défini en philosophie comme une branche de la métaphysique qui s'intéresse à l'existence, à l'être en tant qu'être et aux catégories fondamentales de l'existant. Plus tard, le concept d'ontologie est apparu en pleine lumière dans le domaine de l'intelligence artificielle, afin de résoudre les problèmes de modélisation des connaissances et, plus précisément, en ingénierie des connaissances. La notion d'ontologie a été abordée pour la première fois par John McCarthy qui reconnut le recoupement entre le travail fait en Ontologie philosophique et l'activité de construire des théories logiques de systèmes d'intelligence artificielle [7].

Le concept d'ontologie, qui est emprunté à la philosophie, a été utilisé dans plusieurs secteurs, principalement en intelligence artificielle, en représentation des connaissances, en traitement des langues naturelles, en web sémantique et en ingénierie logicielle. Techniquement parlant, une ontologie, tel qu'elle est utilisée en informatique, peut être minimalement définie en tant qu'artéfact conceptuel qui rassemble un vocabulaire de termes, des spécifications quant à la signification de ces termes et une description de la manière dont ils sont inter reliés les uns aux autres. Les termes en question correspondent normalement à ce que l'on appelle « classes »,«

concepts » ou « choses ». Les spécifications correspondent pour leur part aux « propriétés » ou « attributs » que devrait avoir un objet tombant sous un certain concept. Et les descriptions d'interrelation représentent quant à elles les « relations » que certains concepts entretiennent conceptuellement avec d'autres concepts. Les ontologies peuvent être utilisées pour décrire différents types de modèles. Elles peuvent par exemple décrire des taxonomies élémentaires comme elles peuvent décrire des modèles plus élaborés écrits dans une variante de la logique classique du premier ordre, comme la logique descriptive [8].

Au-delà de son simple rôle de modèle standardisant des éléments de données, les ontologies visent à expliciter la sémantique des ressources informationnelles décrites par les données RDF. En ce sens, on peut dire des ensembles de données RDF qui réfèrent à des ontologies comme modèles qu'ils sont auto-descriptifs : la manière d'interpréter les données fait partie intégrante des données elles-mêmes et ne dépend d'aucun système particulier pour ce faire. C'est pourquoi l'usage de telles données sémantiques constitue une avancée notable en matière d'interopérabilité des systèmes [8].

4.4 Rôles d'ontologie:

- ❖ Les ontologies définissent des vocabulaires structurés, regroupant des concepts utiles d'un domaine et de leurs relations et qui servent à organiser et échanger des informations de façon non ambiguë.
- ❖ fournir une sémantique d'un domaine du monde réel et permettant de lier le contenu exploitable par la machine.
- ❖ Les ontologies sont utilisées pour construire des bases de connaissances. Une base de connaissances peut être formée par une ontologie et un ensemble d'instances de ces classes.
- ❖ fournir une sémantique formelle pour l'information permettant son exploitation par un ordinateur.
- ❖ Les ontologies peuvent jouer le rôle d'entrepôt de données pour organiser l'information pour une communauté spécifique.
- ❖ Le partage et la réutilisation d'information ou les ressources d'information peuvent être transmises entre les humains et les agents logiciels [2].

4.5 Composants d'ontologie

Les ontologies rassemblent les connaissances propres à un domaine donné. En représentation des connaissances, ces ontologies existent sous la forme de concepts et de relations, et permettent d'en fixer la sémantique selon un degré de formalisme variable [7].

Nous détaillons ci-dessous les différents composants de l'ontologie :

4.5.1 Concept

Les concepts peuvent être une pensée, un principe, une notion profonde. Ils sont appelés aussi termes ou classes de l'ontologie, selon *Gomez Pérez* ces concepts peuvent être classifiés selon plusieurs dimensions :

- Niveau d'abstraction (concret ou abstrait).
- Atomicité (élémentaire ou composée).
- Niveau de réalité (réel ou fictif) [40].

4.5.2 Relation

Les relations d'une ontologie désignent les différentes interactions et corrélations entre les concepts de l'ontologie, ces relations englobent les associations suivantes : Sous classe de (spécification ou généralisation), partie de (agrégation ou composition), associé a, instance de, est un ... etc [40].

4.5.3 Axiome

Les axiomes sont utilisés pour décrire les assertions de l'ontologie qui seront considérés après comme vrais, cette détermination a pour but de définir les significations des composants d'ontologie, les contraintes sur les valeurs des attributs, et les arguments de relations [40].

4.5.4 Fonction

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 [40].

4.5.5 Instance

C'est une définition extensionnelle de l'ontologie, par exemple les individus « Amina » et « Saloua » sont des instances du concept «personne» [40].

4.6 Classifications d'ontologies

On peut distinguer quatre typologies (Classification) selon plusieurs critères:

- Classification selon l'objet de conceptualisation
- Classification selon le niveau de complétude.
- Classification selon le niveau du formalisme.
- Classification selon le niveau de détail [10].

4.6.1 Classification selon l'objet de conceptualisation

Les ontologies peuvent être subdivisées en différents niveaux, Comme suit :

Les ontologies de type thesaurus : Sont aussi appelées taxonomie, elles servent à définir un vocabulaire de référence [10].

Les ontologies du domaine : Ces ontologies expriment des conceptualisations spécifiques à un domaine. Elles sont réutilisables pour plusieurs applications de ce domaine. L'ontologie du domaine caractérise la connaissance du domaine où la tâche est réalisée [10].

Les ontologies applicatives : Ces ontologies contiennent des connaissances du domaine nécessaire à une application donnée, elles sont spécifiques et non réutilisable par exemple dans le contexte du e-Learning, une application peut être : la formation de statistiques et probabilités [10].

Les ontologies génériques ou ontologies de haut niveau (top-ontologies) : Ces ontologies expriment des conceptualisations valables dans différents domaines. Son sujet est l'étude des catégories des choses qui existent dans le monde [10].

Les ontologies de représentation ou méta-ontologies : Ces ontologies conceptualisent les primitives des langages de représentation des connaissances [10].

Les ontologies géographiques : les ontologies de l'espace plus spécifiquement dédiées à la description des concepts qui caractérisent l'espace comme le point, la ligne, etc... Ces ontologies sont typiquement élaborées par de grands organismes de normalisation. Les ontologies spatialisées (ou spatio-temporelles), sont des ontologies dont les concepts sont localisés dans l'espace. Une composante temporelle est souvent nécessaire en complément pour la modélisation de l'information géographique, car les applications géographiques manient aussi très souvent des données temporelles, voire spatio-temporelles [10].

4.6.2 Classification selon le niveau de complétude

On peut définir trois niveaux de complétude :

4.6.2.1 Niveau sémantique ou interprétatif

Un concept sémantique se caractérise par un libellé linguistique, emprunté à la langue du domaine, dont l'interprétation est contrainte par les principes différentiels. Ces principes correspondent à l'engagement sémantique qu'il faut respecter pour que le libellé ait un sens univoque et non contextuel et puisse être utilisé comme une primitive de représentation. Deux concepts sémantiques sont identiques si l'interprétation du libellé à travers les principes différentiels aboutit, pour chaque concept, à un sens équivalent [11].

4.6.2.2 Niveau formel ou référentiel

Les concepts formels se caractérisent par un libellé dont la sémantique se définit par une extension d'objets. Engagement ontologique qui spécifie quels objets doivent exister dans le domaine pour utiliser le concept conformément à sa signification formelle. Deux concepts formels sont identiques s'ils possèdent toujours la même extension [11].

4.6.2.3 Niveau opérationnel ou computationnel

Les concepts computationnels se caractérisent par les opérations qu'il est possible de leur appliquer pour générer des interfaces ou engagement computationnel [11].

4.6.3 Classification selon le niveau de détail

On peut différencier les ontologies selon le niveau de description utilisé :

Granularité fine : Ce niveau correspond à des ontologies très détaillées, possédant ainsi un vocabulaire plus riche capable d'assurer une description détaillée des concepts pertinents d'un domaine ou d'une tâche [4].

Granularité large : Ce niveau correspond à des vocabulaires moins détaillés. Par exemple les scénarios d'utilisation spécifique ou les utilisateurs sont déjà préalablement d'accord à propos d'une conceptualisation sous-jacente. Les ontologies de haut niveau possèdent une granularité large, compte tenu que les concepts qu'elles traduisent sont normalement raffinés ultérieurement dans d'autres ontologies de domaine ou d'application [4].

4.6.4 Classification selon le formalisme utilisé

On peut distinguer les ontologies selon le formalisme utilisé pour les exprimer.

Informelle : l'ontologie est exprimée en langage naturelle. Cela peut permettre de rendre plus compréhensible l'ontologie pour l'utilisateur, mais cela peut rendre plus difficile la vérification de l'absence de redondances ou de contradiction ;

Semi-informelle : l'ontologie est exprimée dans une forme restreinte et structurée de la langue naturelle, cela permet d'augmenter la clarté de l'ontologie tout en réduisant l'ambiguïté ;

Semi-formelle : l'ontologie est exprimée dans un langage artificiel définit formellement ;

Formelle : l'ontologie est exprimée dans un langage artificiel disposant d'une sémantique formelle, permettant de prouver des propriétés de cette ontologie [10].

5. Le cycle de vie des ontologies

Il existe plusieurs types d'activités liées aux ontologies ; on peut citer :

- Les activités de gestion ;
- Les activités de développement (spécification, conceptualisation, formalisation) ;
- Les activités transversales de support.

Un cycle de vie d'une ontologie débute du besoin qui se transforme en idée, la concrétisation de l'idée qui se traduit par la conception qui est diffusée pour son utilisation. Vient ensuite l'étape

- conceptualisation et modélisation ;
- formalisation (logiques de description, graphes conceptuels, formalismes du web sémantique RDF, RDF(S) et OWL) ;
- intégration de ressources existantes ;
- implantation (graphes conceptuels, logiques de description) [1].

Le choix de représentation et de conceptualisation faits dans l'ontologie représente un problème de conception et d'évolution. Notons aussi que l'évolution pose le problème de la maintenance de ce qui repose déjà sur l'ontologie. L'ontologie est à la fois un ensemble évolutif et un ensemble de primitives pour décrire des faits et des algorithmes sur ces faits. Ses changements donc, ont un impact direct sur tout ce qui a été construit sur la base de cette ontologie. Le maintien de la cohérence dans une ontologie est un des points clés dans son utilisation. La maintenance de l'ontologie soulève donc des problèmes d'intégration technique et des problèmes d'intégration aux usages. Les domaines de la maintenance comme l'historique et la gestion des versions, la propagation des changements après modification, sont des questions importantes de la recherche actuelle [1].

5.3 Diffusion

Le déploiement et à la mise en place de l'ontologie interviennent dans la phase de diffusion, où les problèmes sont fortement contraints par l'architecture des solutions. Pour l'application Web on utilisera des technologies adéquates et pour le partage de fichiers, nous pouvons utiliser des architectures distribuées. Dans toutes les architectures dans les serveurs web, services web, etc. la distribution des ressources et leur hétérogénéité du point de vue syntaxiques, sémantiques, protocolaires, contextuelles, ou autres posent des problèmes de recherche sur l'interopérabilité et le passage à l'échelle (larges bases, optimisation d'inférences, propagation de requêtes, etc.) [1].

5.4 Utilisation

Les activités reposant sur la disponibilité de l'ontologie, constituent la phase d'utilisation. Les problèmes de la conception des interactions avec l'utilisateur et de leur ergonomie concernant les interfaces dynamiques, les profils et contextes d'utilisation, sont posés dans toutes ces activités. Sur ce point, l'ontologie apporte à la fois de nouvelles solutions et de nouveaux problèmes [1].

6. Les méthodes d'ingénierie ontologique

Il existe plusieurs de méthodes d'ingénierie ontologique mais l'absence de directives structurées et communes ralentisse le développement d'ontologie à l'intérieur et entre les équipes, l'extension de n'importe quelle ontologie, la possibilité de réutilisation de l'ontologie. On entend par méthodologie, les procédures de travail, les étapes, qui décrivent le pourquoi et le comment de la conceptualisation puis de l'artefact construit [9].

Parmi ces méthodes, nous n'offrons que deux méthodes comme suit :

6.1 La méthode de Bachimont

Cette méthode propose de contraindre l'utilisateur à un engagement sémantique en introduisant une normalisation sémantique des termes manipulés dans l'ontologie. La méthode de normalisation suit trois étapes [9]:

- ❖ **Normalisation sémantique** : L'utilisateur doit choisir les termes du domaine et les normaliser en explicitant leurs propriétés et en exprimant les identités et les différences dans leur voisinage proche.
- ❖ **Formalisation des connaissances** : Cette étape consiste à désambiguïser les notions de l'ontologie référentielle obtenue par l'étape précédente et choisir leurs sens pour un domaine spécifique. Cela peut nécessiter la création de nouveaux concepts, l'ajout de propriétés et d'axiomes.
- ❖ **Opérationnalisation des connaissances** : Le système utilise un langage opérationnel de représentation de connaissances qui possède les caractéristiques nécessaires pour répondre aux besoins exprimés lors de la spécification du système.

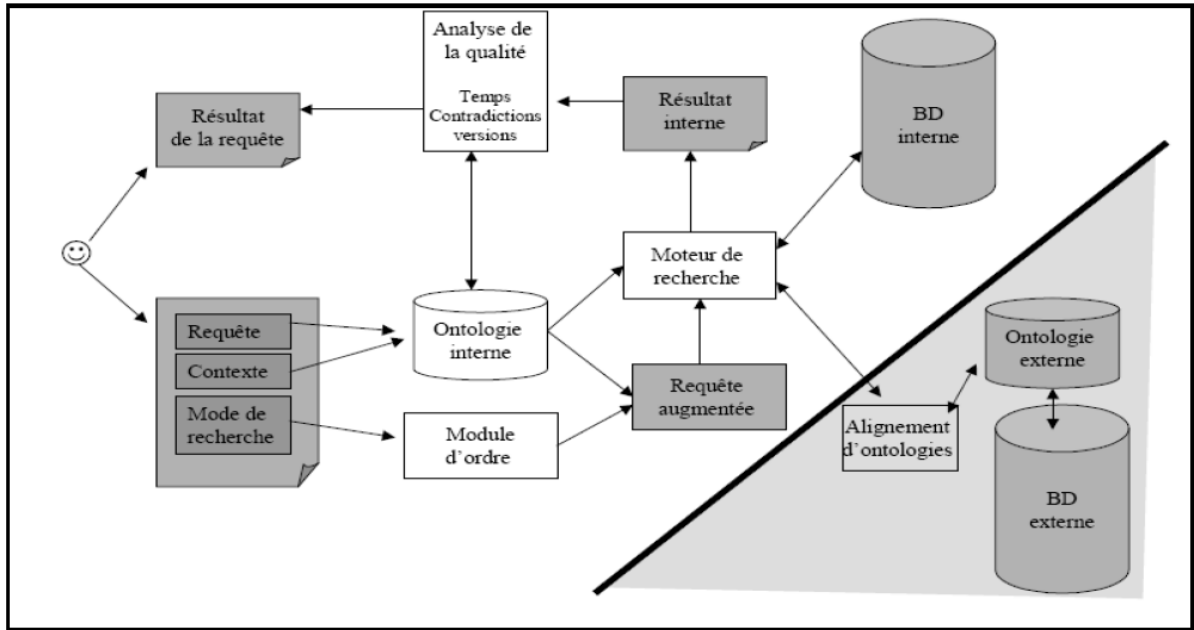


Figure 1.3 : Processus de la méthode Bachimont [13].

6.2 La méthode METHONTOLOGY

C'est une méthodologie mise au point par l'équipe du laboratoire de l'intelligence artificielle de l'université polytechnique de Madrid [9].

Cette méthode est illustrée par la figure 1.4, qui contient le suivant :

- L'identification du processus de développement de l'ontologie.
- Le cycle de vie basé sur l'évolution de prototypes.
- Les techniques de gestion de projet (planification, assurance qualité), de développement (spécification, conceptualisation, formalisation, implémentation, maintenance) et des activités de support (intégration, évaluation, documentation).

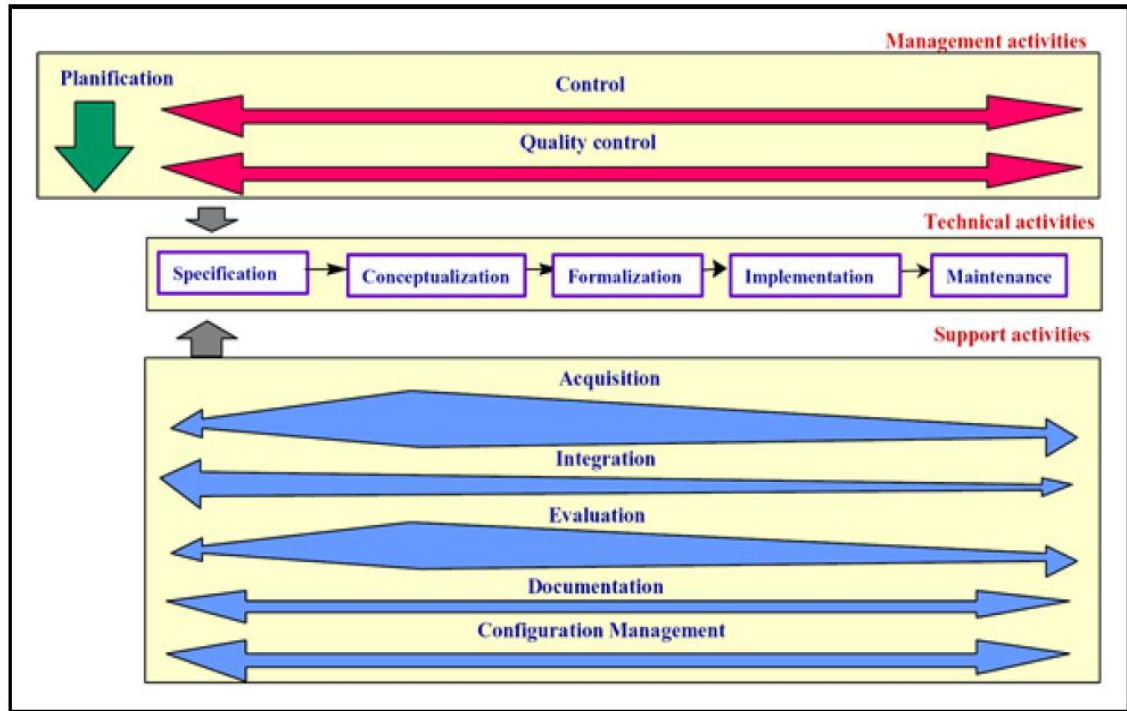


Figure 1. 4 : Processus et cycle de vie de la méthode METHONTOLOGY [13].

Allant la spécification des besoins jusqu'à la phase réalisation et maintenance. Ce processus est composé des étapes suivantes:

- ❖ Spécification : déterminer l'utilisation future de l'ontologie.
- ❖ Conceptualisation : obtenir un modèle du domaine au niveau des connaissances.
- ❖ Formalisation : transformation du modèle conceptuel en modèle formel.
- ❖ Intégration : réutilisation d'autres ontologies.
- ❖ Implémentation : construction d'un modèle opératoire utilisable par un ordinateur.
- ❖ Maintenance : mise à jour de l'ontologie en cas de besoin [12].

7. Outils de développement d'ontologie

Les outils de développement d'ontologies qui existent sur le marché aujourd'hui sont divers et variés. Cet état de choses suscite beaucoup d'interrogations lorsque vient le moment d'en choisir un pour construire une nouvelle ontologie : L'outil offre-t-il une assistance au développement ? L'outil dispose-t-il d'un moteur d'inférence ? Quels langages d'ontologies l'outil supporte-t-il ? L'outil permet-il d'importer/exporter des ontologies ? L'outil offre t-il un support à la

réutilisation d'ontologies existantes ? L'outil permet-il de documenter les ontologies construites ? L'outil offre-t-il un support graphique à la construction des ontologies ? L'outil est-il stable, convivial, « mature » ? Les réponses à toutes ces questions pourraient s'avérer décisives dans le choix de l'un ou l'autre outil. Dans cette section nous passons en revue les principaux outils disponibles [56].

7.1 Les langages de spécification d'ontologies

Dans le contexte du Web sémantique, plusieurs langages d'ontologies ont été développés, certains d'entre eux sont basés sur la syntaxe de XML, tels que XOL, SHOE, OML, RDF, et RDF Schéma. Les deux derniers sont créés par des groupes de travail du W3C. Trois autres langages sont établis sur RDF(S) pour améliorer ses caractéristiques : OIL, DAML+OIL et OWL [56].

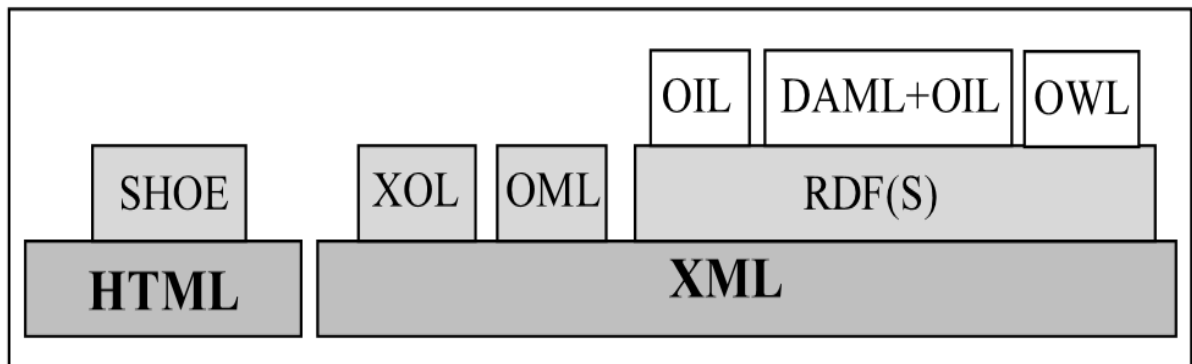


Figure 1.5 : La pyramide des langages du Web sémantique [56].

7.1.1 RDF

RDF (**R**esource **D**escription **F**ramework) est un langage pour la représentation de méta-données à propos des ressources. Le modèle RDF permet cette représentation par des assertions sous la forme d'un triplé (ressource, propriété, valeur):

- **Ressources** : les ressources sont tous les objets décrits par RDF.
- **Propriétés** : une propriété est un attribut, un aspect, une caractéristique qui s'applique à une ressource.

- **Valeurs** : les valeurs en question sont les valeurs particulières que prennent les propriétés [56].

7.1.2 RDFS

RDF Schémas est un langage permettant de définir des schémas de méta-données. Il définit le sens, les caractéristiques et les relations d'un ensemble de propriétés [56].

7.1.3 Le langage OWL

OWL est un langage fondé sur la syntaxe RDF/XML et héritier des travaux de DAML+OIL. OWL introduit l'aspect sémantique qui manque RDF, et offre, par ses primitives plus riches, au machine une capacité d'interprétation plus grande que celle de RDF et RDFS [14].

OWL se compose de trois sous-langages :

- OWL Lite
- OWL DL
- OWL Full



Figure 1. 6 : Les sous langages OWL [14].

OWL Lite est le sous langage le plus simple, il répond à des besoins de hiérarchie de classification et de fonctionnalités de contraintes simples [14].

OWL DL est plus complexe qu'OWL Lite, il est fondé sur la logique de description SHIN(D). OWL DL garantit la complétude des raisonnements (calculabilité des inférences) et leur décidabilité (leur calcul se fait en une durée finie) [14].

OWL Full est la version la plus complexe d'OWL, il se destine aux utilisateurs souhaitant une expressivité maximale. Il a l'avantage de la compatibilité complète avec RDF/RDFS, mais

l'inconvénient est qu'il ne garantit pas la complétude et la décidabilité des calculs liés à l'ontologie [14].

7.2 Les moteurs d'inférences

La plupart de ces moteurs acceptent en entrée des fichiers OWL et sont conçus pour raisonner sur les logiques de descriptions. Une fois l'ontologie chargée, ces moteurs effectuent les inférences sur la TBox et la ABox. Le tableau ci-dessous dresse une comparaison des principaux moteurs d'inférence pour les logiques de description [56].

Moteur	Logique de Description	Implantation	Inférence	API Java	OWL	Décidabilité
Racer	<i>SHIQ</i>	C++	TBox/AB ox	oui	OWL DL	oui
Pellet	<i>SHIN(D)</i> <i>SHON</i>	Java	TBox/AB ox	natif	OWL DL	oui
FaCT	<i>SHIQ</i> , <i>SHF</i>	Common Lisp	TBox	oui	OWL DL	oui
FaCT++	<i>SHIF</i>	C++	TBox	oui	OWL-Lite	oui
Surnia	Logique prédicats	Python	TBox/AB ox	non	OWL Full	non
Hoolet	Logique prédicats	Java	TBox/AB ox	oui	OWL DL	non
F-OWL	<i>SHIQ</i>	Java	TBox/AB ox	oui	OWL Full	non

Tableau 1. 1 : Les principaux moteurs d'inférence [56].

8. Conclusion

Les ontologies sont des modèles interprétables par la machine de domaines de connaissances. Une représentation ontologique d'un domaine de connaissances contient des définitions de concepts et de relations inter concept fondées sur des bases logiques qui sont spécifiques à ce domaine.

Dans ce chapitre nous avons donné la définition du web sémantique et leurs composantes principales et nous avons également fourni des définitions sur la notion d'ontologie, ses composants ainsi que la classification selon plusieurs démarches et cycle de vie, ensuite nous avons décrit les processus de construction et les langages d'ontologie. Dans le chapitre suivant, nous parlerons de diagnostic médical.

CHAPITRE 2

DIAGNOSTIC MEDICAL

Introduction

Le diagnostic médical est le processus permettant de déterminer quelle maladie ou condition explique les symptômes et les signes d'une personne. On parle le plus souvent de diagnostic, le contexte médical étant implicite. Les informations nécessaires au diagnostic sont généralement collectées à partir des antécédents et d'un examen physique de la personne recherchant des soins médicaux [61].

Une ontologie médicale est un modèle de la connaissance d'un domaine médical. Il contient tous des concepts pertinents liés aux causes, maladies, symptômes et autres données sur les patients.

Les systèmes experts utilisés dans les examens médicaux revêtent une grande importance, car ils fournissent un rapport d'évaluation précis des données médicales fournies au système. Ce type de système fournit une méthode simple et instantanée d'examen médical. Et ceci est également utile lorsque les praticiens professionnels ou médicaux ne sont pas présents. Ces systèmes donnent des résultats basés sur la base de connaissances intégrée et sont acquis par des experts et des autorités sur le terrain. De nombreux systèmes de diagnostic médical ont déjà été développés et ont déjà été appliqués dans le traitement et le diagnostic.

Dans ce chapitre, nous pressentons les termes et les concepts les plus importants, les techniques et les outils employés dans le domaine du diagnostic médical. En fin, nous expliquerons les systèmes d'aide à de diagnostic médicale.

1. Définition

1.1 Le signe et le symptôme

En médecine humaine, un « signe » ou un « ensemble de signes » peut être la manifestation objective d'une pathologie, relevée par le médecin. Un signe peut apparaître à des niveaux d'observation différents, impliquant des techniques de recueil plus ou moins rapides et/ou coûteuses. Les signes peuvent être scindés comme suit [23]:

- a. **Les signes cliniques** : sont recueillis sans instrument lourd, par exemple utiliser le stéthoscope .Divisé les signes cliniques en [23]:
 - Signes généraux (par exemple, la température)
 - Signes focaux (délimité à une zone)

- Signes fonctionnels (des signes récupérés par l'interrogatoire)
- Signes physiques (par exemple, une rougeur, un bruit anormal au stéthoscope)
- b. **Les signes para-cliniques** : Ceux qui sont observables via la radiographie, le scanner, etc...

1.1.1 Le signe positif

Un signe est dit positif si c'est sa présence qui a une signification, par exemple une quantité d'immunoglobuline de type A supérieure à 3g/dL est un signe positif pour le myélome multiple [24].

1.1.2 Le signe négatif

Un signe est dit négatif si c'est son absence qui a une signification, par exemple l'absence de HRAB (hypercalcémie, Rinsuffisance rénale, Anémie, Blésion osseuse) est caractéristique de la gammopathie monoclonale à signification indéterminée [24].

1.2 Le syndrome

Le syndrome est une collection de signes ou de symptômes survenant simultanément sans étiologie identifiée [23].

1.3 La maladie

Une maladie est une condition anormale particulière qui affecte négativement la structure ou le fonctionnement de tout ou partie d'un organisme et qui n'est due à aucune lésion externe. Les maladies sont souvent interprétées comme des états pathologiques associés à des symptômes et des signes spécifiques. Une maladie peut être causée par des facteurs externes tels que des agents pathogènes ou par des dysfonctionnements internes. Par exemple, les dysfonctionnements internes du système immunitaire peuvent engendrer diverses maladies, notamment diverses formes de déficit immunitaire, d'allergies et de troubles auto-immuns [23].

1.4 Le diagnostic médical

Le diagnostic est indispensable à l'établissement du pronostic et de la thérapeutique. Il est moins une phase de l'examen médical. Facile et même évident dans certains cas, il peut être très difficile dans d'autres, devant l'urgence thérapeutique, le médecin devra alors décider si et quand les documents qui s'accumulent permettent l'arrêt de l'investigation et le passage à une conclusion, qui reste forcément révisable, mais n'en est pas moins nécessaire, car une

recherche de plus en plus raffinée de signes pourrait parfois se poursuivre indéfiniment. C'est en ce sens qu'on comprendra que le même mot grec (diagnôsis) ait signifié à la fois discernement, décision et diagnostic médical [42].

Les médecins, tout au cours de l'histoire, se sont efforcés de poser des diagnostics, et on leur a souvent reproché de réduire à cela leur activité. Il faut reconnaître, en effet, que les diagnostics des anciens, fondés sur la théorie hippocratique des humeurs, n'avaient pas grande signification. La médecine est devenue scientifique le jour où les découvertes de Morgagni et de Laennec ont permis le diagnostic anatomopathologique, celles de Virchow le diagnostic microscopique, celles de Claude Bernard le diagnostic physiologique, celles de Pasteur le diagnostic bactériologique [42].

Démarche essentiellement logique, qui n'est intuitive qu'en apparence, le diagnostic médical, brassant et triant une information de plus en plus considérable, peut être facilité par l'usage de l'ordinateur, on s'appuie alors sur des méthodes très analytiques (le « pas à pas ») faisant appel à l'algèbre de Boole, au calcul des probabilités et à la théorie des graphes ou sur des techniques mathématiques globales de « reconnaissance des formes »[42].

Un raisonnement est une certaine manière d'enchaîner des propositions. Le processus du diagnostic médical peut relever d'un raisonnement déductif, inductif, abductif, par analogie, etc.

1.4.1 Le raisonnement déductif

Le raisonnement déductif est un processus qui conduit, sur la base de prémisses fondatrices ou de propositions formulées à partir de données d'observation ou d'expérience, à des conclusions qui en découlent rationnellement par enchaînement et de façon intelligible [26].

Exemple 1 :

- a. Toutes les vaches sont des ruminants ;
- b. Or, Jeannette est une vache ;
- c. Donc, Jeannette est un ruminant (conclusion) [26].

Exemple 2 :

Les hommes sont mortels, Socrate est un homme, donc Socrate est mortel. Les inférences déductives valides sont le *modus ponens* et le *modus tollens* [26].

- Le *modus ponens* affirme l'antécédent : si p alors q ; or p ; donc q.
- Le *modus tollens* dénie le conséquent : si p alors q ; or non q ; donc non p.

Marquer à (**p**, **non p**, **q**, **non q**) par exemple :

- La proposition « Une vache présente le signe S » sera notée **p**.
- La proposition « Une vache ne présente pas de signe S » sera notée **¬ p**.
- La proposition « Une vache présente la maladie M » sera notée **q**.
- La proposition « Une vache ne présente pas la maladie M » sera notée **¬ q**.

Type d'argument		Proposition conditionnelle	Condition d'existence	Inférence
Inférences déductives valides	<i>Modus ponens</i> Affirme l'antécédent	p → q <i>Si une vache présente un signe S, alors elle a la maladie M.</i>	p <i>Une vache présente un signe S</i>	→ q <i>Donc, elle a la maladie M.</i>
	<i>Modus tollens</i> Dénie le conséquent	p → q <i>Si une vache présente un signe S, alors elle a la maladie M.</i>	¬ q <i>Une vache n'a pas la maladie M.</i>	→ ¬ p <i>Donc, elle ne présente pas de signe S.</i>

Tableau 2. 1 : table de raisonnement conditionnel d'inférences valides au plan de la déduction [27].

1.4.2 Le raisonnement inductif

Le raisonnement inductif est un raisonnement qui permet d'élaborer des lois ou des théories générales à partir de prémisses constituées d'observations particulières répétées.

Exemple [2] :

- Un groupe de patients a une rhinopharyngite virale (cas),
- Tous les patients ont guéri spontanément (résultat),
- Toutes les rhinopharyngites virales ont une évolution spontanément favorable (règle).

1.4.3 Le raisonnement abductif

L'abduction est une inférence, c'est-à-dire un mouvement de pensée par lequel on passe d'un fait surprenant à une hypothèse susceptible d'en rendre compte [26].

Exemple :

Soit D une collection de données (faits, observations, signes et symptômes), Soit H une hypothèse de D (si H est vrai, il explique D) et Aucune autre hypothèse ne peut mieux expliquer D que H Alors, l'hypothèse H est probablement vrai [2].

1.5 La sémiologie

La sémiologie médicale est la science qui s'intéresse à l'étude des signes recueillis chez les malades. Les signes regroupent les symptômes ressentis et exprimés par le malade et les signes physiques constatés par le médecin. Regroupés en des ensembles homogènes et stéréotypés ces éléments définissent des pathologies. De nos jours, la sémiologie médicale est certes constituée des signes cliniques mais aussi de l'ensemble des tests complémentaires (biologiques, morphologiques...) qui permettent de définir par leurs associations le diagnostic des états pathologiques. La sémiologie est une science vivante qui évolue avec son temps [25].

2. Présentation générale de système d'aide à de diagnostic médicale

Réaliser des systèmes capables de faire ce que l'homme fait en raisonnant est une idée très ancienne bien que le terme Intelligence artificielle soit né seulement en 1956 avec les premiers systèmes informatisés. Cette discipline de l'informatique s'est véritablement développée avec l'apparition des systèmes experts dans les années 70. Le principe de cette approche est de demander à un ou plusieurs experts d'établir des règles qui décrivent leur façon de prendre leurs décisions [35].

Les systèmes experts de simuler le savoir-faire, la façon de raisonner des experts dans un domaine donné bien délimité et précis et la mise des connaissances apprises par le processus à la disposition des utilisateurs ou experts du domaine. Ils doivent réaliser à la fois un traitement d'information et un raisonnement, ce qui signifie en termes médicaux, une stratégie de diagnostic. Donc le rôle d'un système expert est de fournir une aide médicale sous une forme appropriée à partir de symptômes préalablement établis [35].

2.1 Les systèmes experts pour l'aide à la Diagnostic médicale

Nous ne pouvons aborder les systèmes d'aide à la décision médicale sans parler des systèmes experts.

Réaliser des systèmes capables de faire ce que l'homme fait en raisonnant est une idée très ancienne bien que le terme Intelligence artificielle soit né seulement en 1956 avec les premiers systèmes informatisés. Cette discipline de l'informatique s'est véritablement développée avec l'apparition des systèmes experts dans les années 70 [51]. Le principe de cette approche est de demander à un ou plusieurs experts d'établir des règles qui décrivent leur façon de prendre leurs décisions [52].

Les systèmes experts tentent de simuler le savoir-faire, la façon de raisonner des experts dans un domaine donné bien délimité et précis et la mise des connaissances apprises par le processus à la disposition des utilisateurs ou experts du domaine. Ils doivent réaliser à la fois un traitement d'information et un raisonnement, ce qui signifie en termes médicaux, une stratégie de diagnostic et/ou thérapeutique. Donc le rôle d'un système expert médical est de fournir une aide médicale sous une forme appropriée à partir de symptômes préalablement établis [53].

2.2 Les définitions d'un système expert

Définition 1 : on peut définir le système expert comme étant un système informatique qui imite la démarche de la personne compétente dans un domaine donné, quelle que soit la méthode de raisonnement qu'elle utilise. De plus, il doit être interactif, capable de dialoguer avec ses utilisateurs et d'expliquer ses raisonnements [51].

Définition 2 : un système expert est un programme capable d'explorer une expertise dans un domaine particulier. Cette expertise rassemble non seulement des connaissances directement liées à ce domaine mais également des capacités de raisonnement acquises par les spécialistes au cours de leur activité (les stratégies). Un système expert est donc un logiciel ou une partie d'un logiciel destiné à assister l'homme dans des domaines où est reconnue une expertise humaine [52].

2.3 Structure d'un système expert

L'architecture d'un système expert typique est constituée de plusieurs modules, figure 2.1.

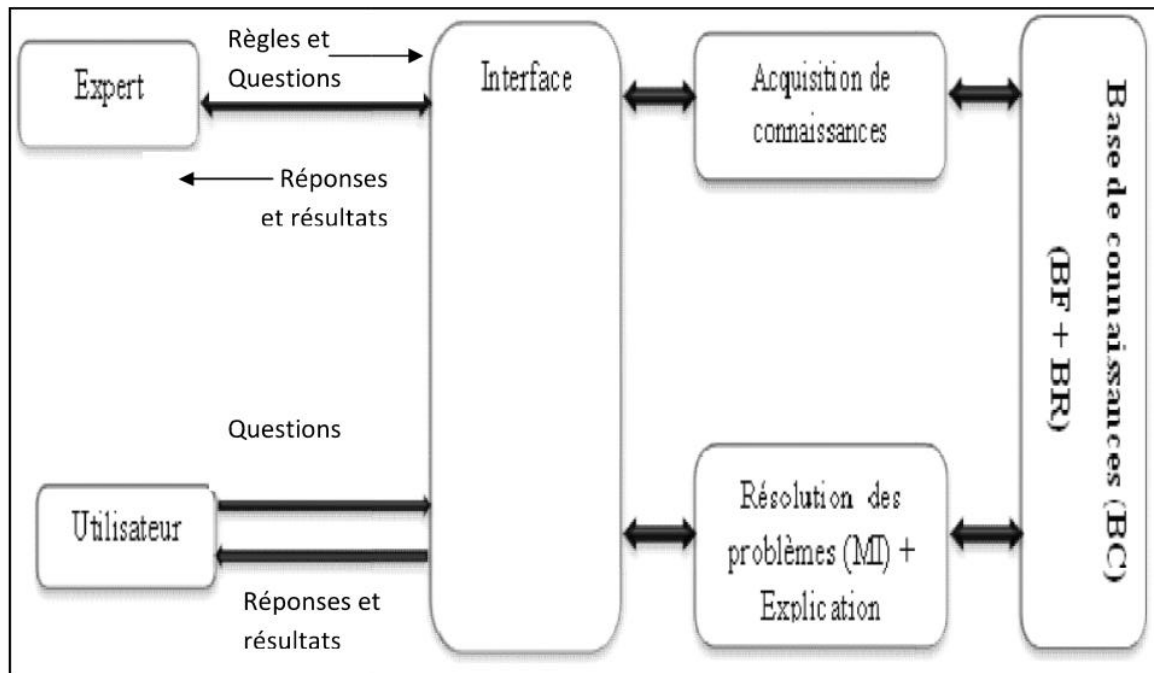


Figure 2. 1 : Architecture d'un Système Expert [54].

L'interface utilisateur: sert à simplifier la communication, elle peut utiliser la forme question-réponse, le menu, le langage naturel etc [54].

La base de connaissances : contient les connaissances concernant la résolution du problème et dispose des deux bases suivantes [54]:

La Base de Faits (BF): est l'une des entrées d'un moteur d'inférence. Elle contient les connaissances représentant des états considérés comme prouvés. C'est la mémoire de travail du SE. Elle est variable au cours de l'exécution et vidée lorsque l'exécution est terminée. Les faits peuvent prendre des formes plus ou moins complexes.

La Base de Règles (BR) : La base de règles contient les connaissances expertes, c'est à- dire qu'elles représentent les raisonnements effectués par un expert. Elles sont appelées les unes à la suite des autres afin de créer des enchaînements de raisonnements. Tous ces raisonnements peuvent être représentés sous la forme de règles de production du type « Si condition alors action ». Toutefois, cette représentation peut varier suivant le contexte de l'application [54].

Le module d'explication : permet au système expert d'expliquer son raisonnement.

Le moteur d'inférence : un moteur d'inférence permet de conduire des raisonnements logiques en utilisant conjointement la base de faits et la base de règles. Selon différentes stratégies, le moteur d'inférence utilise des règles, les interprète, les enchaîne jusqu'à arriver à un état représentant une condition d'arrêt. Ces dernières dépendent du moteur et de la base de

connaissances implémentée. En général, l'exécution de règles par le moteur d'inférence influe sur l'état des faits et éventuellement sur les autres règles [54].

2.4 Quelques systèmes experts dans le domaine médical

Il existe plusieurs de systèmes experts, nous ne citons ci-dessous que quelques systèmes [53].

MYCIN: MYCIN est l'un des premiers systèmes experts réalisé dans le domaine médical et plus particulièrement dans le domaine des maladies infectieuses. Il a été développé à Sanford au début des années 70. C'est un système d'aide à la décision dans l'identification des microorganismes responsables des infections, destiné à des médecins non spécialistes.

INTERNIST-I: Le système expert INTERNIST-I a été développé à Pittsburg (USA) en 1974 dans le domaine de la médecine interne. Il est utilisé pour le diagnostic des problèmes complexes dans ce domaine. Il utilise les observations des patients pour en déduire une liste d'états pathologiques. Mais il est inutilisable en pratique à cause de son temps de consultation exagéré.

PROTIS: PROTIS est un système expert dans le domaine de la diabétologie. Il a été conçu pour aider les médecins généralistes dans le traitement du diabète.

SAM: Le système expert SAM a été développé à la faculté de médecine Pitié-Salpêtrière dans le domaine des hypertension artérielles. Il comporte un réseau sémantique de termes et une base de règles. Plusieurs applications ont été réalisées en couplage avec le système ARTEMIS et ce pour le diagnostic des hypertension artérielles et aussi pour le diagnostic et le traitement des septicémies.

SPHINX: Le système expert SPHINX a été réalisé à la faculté de médecine de Marseille entre 1980 et 1984. Il a été appliqué dans le domaine de l'aide au diagnostic des ictères et dans celui de l'aide à la thérapeutique du diabète non insulino-dépendant.

SES: Le système expert SES (Système Expert Septicémies) a été développé pour le diagnostic et le traitement des septicémies dans le domaine des infections généralisées.

MENINGE: Le système expert MENINGE élaboré au CHU de Grenoble dans le domaine de l'étude des méningites en pédiatrie est un système d'aide au diagnostic précoce des méningites infantiles. Il utilise le principe du maximum d'entropie pour évaluer les variables logiques qui entreront dans les règles de décision diagnostique et permettront de connaître si l'étiologie est bactérienne ou virale.

MEDICOTOX CONSILIUM: MEDICOTOX CONSILIUM est un système expert dans le domaine de la toxicologie exogène. Il a été mis au point pour le diagnostic et le traitement des

intoxications exogènes. Il fonctionne selon trois modes : le mode orientation clinique pour diagnostiquer les cas d'urgence où une action immédiate est nécessaire, le mode recherche de diagnostic pour les cas moins urgents et le mode expert de référence pour rechercher des informations sur des médicaments et des toxines contenues dans l'organisme.

PATHFINDER: PATHFINDER est un système expert dans le domaine de la chirurgie des ganglions lymphatiques. Il fournit une aide au diagnostic des ganglions lymphatiques.

MYOSYS: Le système expert MYOSYS a été conçu dans le domaine de la physiologie pour l'aide au diagnostic électromyographique.

SETH: SETH est un système expert dans le domaine des intoxications médicamenteuses. Le but de SETH est de donner aux utilisateurs des conseils spécifiques concernant le traitement et le suivi des intoxications médicamenteuses.

AES: AES (Advanced Expert System) est un système expert utilisé en bactériologie. Il analyse les résultats des tests de sensibilité aux antimicrobiens selon les espèces bactériennes. La lecture interprétative des tests de sensibilité vise à analyser les profils de sensibilité plutôt que des résultats pour les antibiotiques individuels de telle sorte que les mécanismes de résistance sous-jacent puissent être prédis [53].

Le tableau 2.2 résume les systèmes experts médicaux avec précisant leur domaine et leur but.

Système expert	Domaine	But
MYCIN	maladies infectieuses	identification des microorganismes responsables des infections, conseil sur le choix d'un antibiotique
INTERNIST-I	médecine interne	diagnostic des problèmes complexes en médecine interne
PROTIS	Diabétologie	aide les médecins généralistes dans le traitement du diabète
SAM	hypertensions artérielles	diagnostic des hypertensions artérielles
SPHINX	Endocrinology	aide au traitement du diabète NID, aide au diagnostic des ictères, proposition d'un modèle de simulation d'une consultation médicale
SES	Septicémies(infections généralisées)	diagnostic et traitement des septicémies
MENINGE	étude des méningites en pédiatrie	étiologie et diagnostic des méningites

		bactériennes et virales
MEDICOTOX CONSILIUM	toxicologie exogène	diagnostic et traitement des intoxications exogènes
PATHFINDER	chirurgie des ganglions lymphatiques	diagnostic des maladies des ganglions lymphatiques
MYOSIS	Physiologie	diagnostic électromyographique
SETH	intoxications médicamenteuses	diagnostic et traitement des intoxications médicamenteuses
AES	Bactériologie	proposition d'un traitement antibiotique

Tableau 2. 2 : Quelques systèmes experts médicaux [53].

2.5 Système d'aide au diagnostic médical à base d'ontologie

Les ensembles de règles produits seront exploités via un système d'aide au diagnostic médical. Ce système permettra de présenter le contenu des modèles ontologiques à un praticien afin de l'aider dans ces tâches. Ce système doit fournir une interface adaptative en fonction du contenu de l'ontologie. La structure du contenu de l'interface est définie par certaines connaissances de contrôle. Ce système doit aussi fournir des explications sur son raisonnement guidées par les connaissances de contrôle [2].

3. Conclusion

Le diagnostic médical est le processus permettant d'établir la présence d'une maladie ou d'un dysfonctionnement chez un patient par l'observation des symptômes et les signes relève du raisonnement scientifique. les systèmes d'aide à la décision médicale se définissent comme une suite d'étapes décisives dont la finalité est l'amélioration de la qualité des soins apportés aux patients, les systèmes experts ont eu beaucoup de succès et ont donné lieu à de multiples travaux scientifiques notamment en médecine. Dans ce chapitre nous avons présenté le système expert, système à base d'ontologie et différents systèmes experts dans le domaine médical. Dans le chapitre suivant, nous allons expliquer la logique floue et incertitude en détail.

CHAPITRE 3

LOGIQUE FLOUE ET INCERTITUDE

Introduction

Dans le fonctionnement de l'esprit humain, les incertitudes sont particulièrement remarquables. La capacité d'établir des classes d'éléments de la nature ayant des propriétés analogues est très naturelle chez l'homme. Il est tout aussi naturel à l'homme de traiter des données affectées d'incertitude, le souci d'automatiser ou d'assister de façon automatique les actions humaines, naturellement empiriques et empreintes d'imprécisions, dans le cadre d'une aide à la décision ou du contrôle par exemple, renforce l'intérêt des scientifiques pour l'approche floue et justifie son intense développement au cours de ces dernières années. C'est pour les possibilités qu'elle offre de gérer l'incertitude et l'imprécision, que nous nous sommes intéressés à la logique floue [15].

Dans ce chapitre nous allons présenter les quelques définitions sur l'incertitude et les différences entre logique classique et floue, Ensuite, nous donnons quelques définitions et concepts sur la logique floue, dans ce dernier nous donnerons explication système d'inférence floue.

1. Définition

Incertitude : L'incertitude est relative à la vérité d'une information, et caractérise son degré de conformité à la réalité. Elle fait référence à la nature de l'objet ou du fait concerné, à sa qualité, à son essence ou à son occurrence [60].

Imprécision : L'imprécision concerne le contenu de l'information et mesure donc un défaut quantitatif de connaissance, sur une mesure. Elle concerne le manque d'exactitude en quantité, en taille, en durée, le manque de définition d'une proposition qui est ouverte à diverses interprétations [60].

1.1 Méthodes pour gérer l'incertitude

1.1.1. Logique floue

Parmi les méthodes de représentations des connaissances, logique floue (fuzzy logic) est une nouvelle méthode de traitement pour les problèmes de réglage et de prise de décision établit par le professeur Lotfi Zadeh en 1965.

Exemple :

Gazon humide est vrai à 80%, donc ça gère un degré de vérité et non une croyance (l'incertain).

1.1.2. Probabilités

Les Probabilités traitent essentiellement de l'incertitude. Elles reposent sur des théories mathématiques solides telles que la théorie bayésienne de la décision, la théorie de l'estimation, les mesures entropiques, etc [60].

Exemple :

Étant donné l'évidence disponible (météo, état des parkings, états de la circulation, etc.), fera que j'arrive à temps avec une probabilité de 0.05.

1.1.3. Les fonctions de croyance

La théorie des fonctions de croyances (ou théorie de Dempster-Shafer [302]) repose sur un langage défini par des fonctions (appelées dans ce cadre fonctions de masse, de croyance et de plausibilité) sur l'ensemble des parties du référentiel. Les représentations permettent de tenir compte à la fois de l'imprécision et de l'incertitude, de l'ignorance, de l'incomplétude, et donnent accès au conflit. L'inférence par la règle de Dempster réalise une agrégation de type conjonctif des informations combinées [60].

Exemple :

On va dire que le patient a 85% de chance d'avoir une carie s'il a un mal de dent.

1.2 Représentation des connaissances et incertitude

Il y a différents modes de représentation des connaissances utilisés et traitement de l'information [60] :

- les probabilités ;
- les fonctions de croyance ;
- l'ensemble flou et les possibilités.

Dans les représentations probabilistes, le langage est constitué de distributions de probabilités sur un référentiel. Elles permettent de prendre en compte de manière rigoureuse des incertitudes aléatoires ou stochastiques. Il est plus difficile de rendre compte des autres formes d'imperfections, µa la fois formellement et sémantiquement [60].

La théorie des fonctions de croyances repose sur un langage défini par des fonctions (appelées dans ce cadre fonctions de masse, de croyance et de plausibilité) sur l'ensemble des parties du référentiel. Les représentations permettent de tenir compte µa la fois de l'imprécision et de l'incertitude, de l'ignorance, de l'incomplétude, et donnent accès au conflit. L'inférence par la règle de Dempster réalise une agrégation de type conjonctif des informations combinées [60].

Dans la théorie des ensembles flous et des possibilités, le langage est formé de sous-ensembles fous du référentiel ou de distributions de possibilité sur celui-ci. Il permet de représenter des informations qualitatives, imprécises, vagues. L'inférence se fait par des règles logiques, réalisant essentiellement un raisonnement de type déductif, pouvant être qualitatif [60].

2. La logique floue

2.1 Logique classique vs logique floue

Dans le cadre de la logique classique, une proposition est soit vraie, soit fausse (1 ou 0). Par exemple, la logique classique peut facilement partitionner la température d'une pièce en deux sous-ensembles, <<froid>> si la température moins de 15 degrés et <<chaud>> si la température est 15 degrés ou plus. Toutes les températures de moins de 15 degrés sont alors considérées comme appartenant à l'ensemble «froid». On leur affecte une valeur de 1. Toutes les températures atteignant 15 degrés ou plus ne sont pas considérées comme appartenant à l'ensemble «froid». On leur attribue une valeur de 0 [15].

Le raisonnement humain s'appuie fréquemment sur des connaissances ou des données inexacts, incertaines ou imprécises. Une personne placée dans une pièce dont la température est

soit de 14.95 degrés soit de 15.05 degrés, ne fera certainement pas de distinction entre ces deux valeurs. La figure 3.1 a montré la différence entre un ensemble classique et l'ensemble floue. Cette personne sera pourtant capable de dire si la pièce est «froide» ou «chaude», sans pour cela utiliser de température limite ni de mesure précise. La logique floue permet de définir des sous-ensembles, comme «froid» ou «chaud», en introduisant la possibilité pour une valeur d'appartenir plus ou moins à chacun de ces sous-ensembles. La logique floue permet de faire intervenir les notions d'imprécision et d'incertitude dans un système. Cela permet par exemple de faire intervenir une température «d'environ 15 degrés» dans un contrôleur flou [15].

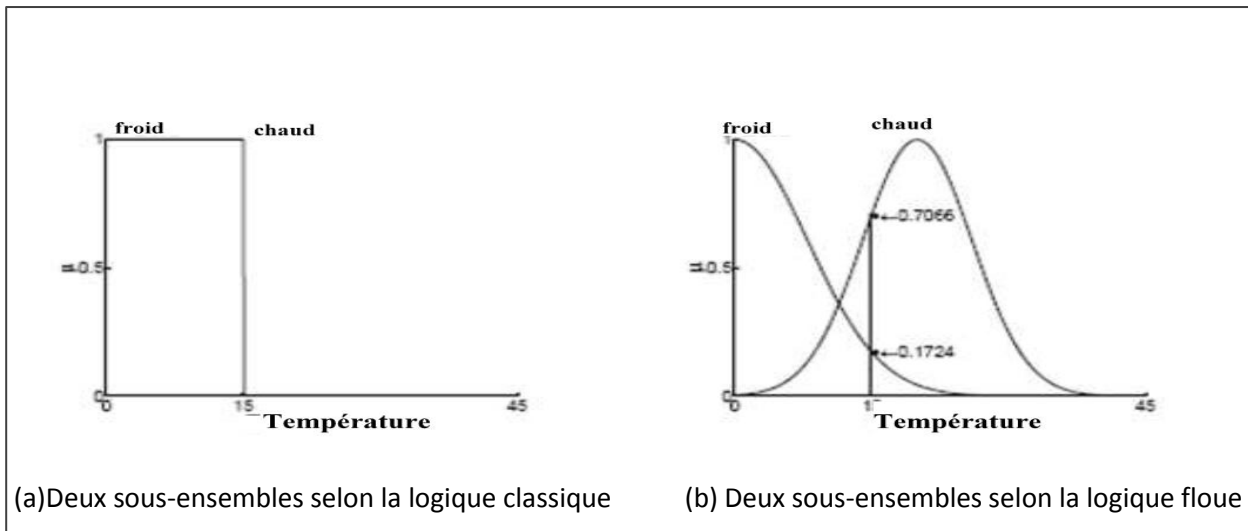


Figure 3. 1 : Classification des températures d'une pièce en deux sous-ensembles [15].

Exemple :

a. En logique booléenne (classique)

Le degré d'appartenance (μ) ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1). La température peut être :

- Faible : (T) faible = 1, (T) moyenne = 0, (T) élevée = 0
- Moyenne : (T) faible = 0, (T) moyenne = 1, (T) élevée = 0
- Élevée : (T) faible = 0, (T) moyenne = 0, (T) élevée = 1

Elle ne peut pas prendre deux qualificatifs à la fois [15].

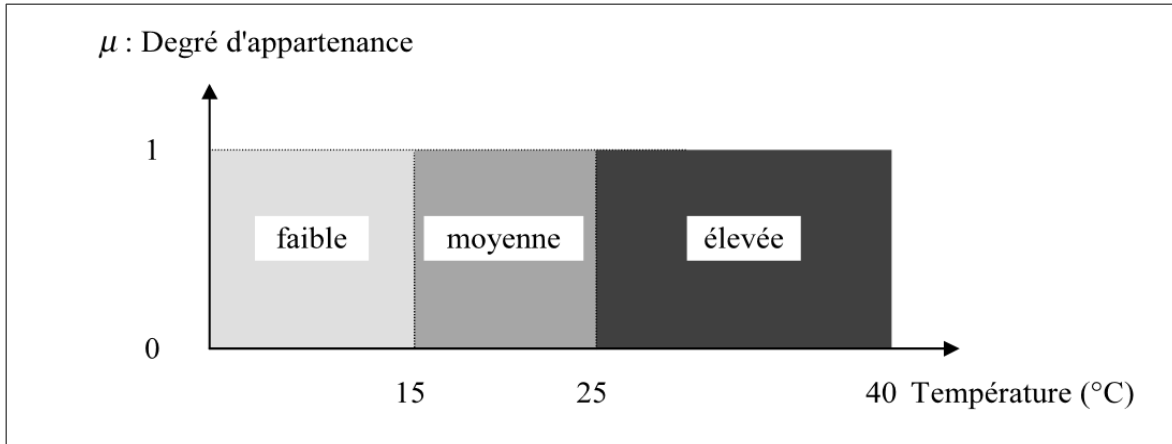


Figure 3. 2 : Exemple d'ensembles considérés en logique booléenne [17].

b. En logique floue :

Le degré d'appartenance devient une fonction qui peut prendre une valeur réelle comprise entre 0 et 1 inclus. $\mu_{moyenne}(T)$, par exemple, permet de quantifier le fait que la température puisse être considérée comme moyenne. Dans ce cas, la température peut être considérée, à la fois, comme faible avec un degré d'appartenance de 0,2 et comme moyenne avec un degré d'appartenance de 0,8. $\mu_{faible}(T) = 0.2$, $\mu_{moyenne}(T) = 0.8$, $\mu_{élevée}(T) = 0$ [17].

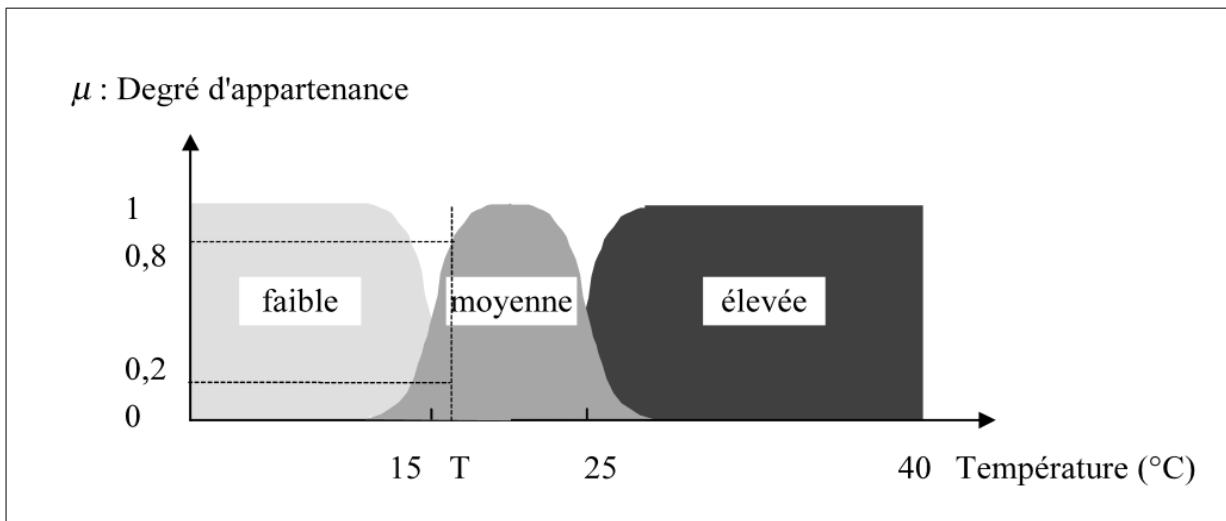


Figure 3. 3 : Exemple d'ensembles considérés en logique floue [17].

2.2 Concepts ET definitions

2.2.1 Sous-ensembles flous

La notion de sous-ensembles flous a pour but de permettre des gradations dans l'appartenance d'un élément à une classe, c'est-à-dire d'autoriser un élément à appartenir plus ou moins à une classe prédéfinie, «plus la surface d'un appartement se rapproche de $200m^2$, plus son appartenance à la classe des grands appartements est forte». Cette notion permet l'utilisation de catégories aux limites mal définies «Large», de situations intermédiaires entre le tout et le rien «presque ouvert», le passage progressif d'une propriété à une autre «passage de peu profond à profond», l'utilisation de valeurs approximatives «environ 12 mètres». Cette présentation évite l'utilisation arbitraire de limites rigides à des classes et répond au besoin de présenter des connaissances imprécises, soit parce qu'elles sont exprimées en langage naturel «on utilise aussi le terme variable linguistique», soit parce qu'elles sont obtenues avec des instruments d'observations qui produisent des erreurs de mesure [15].

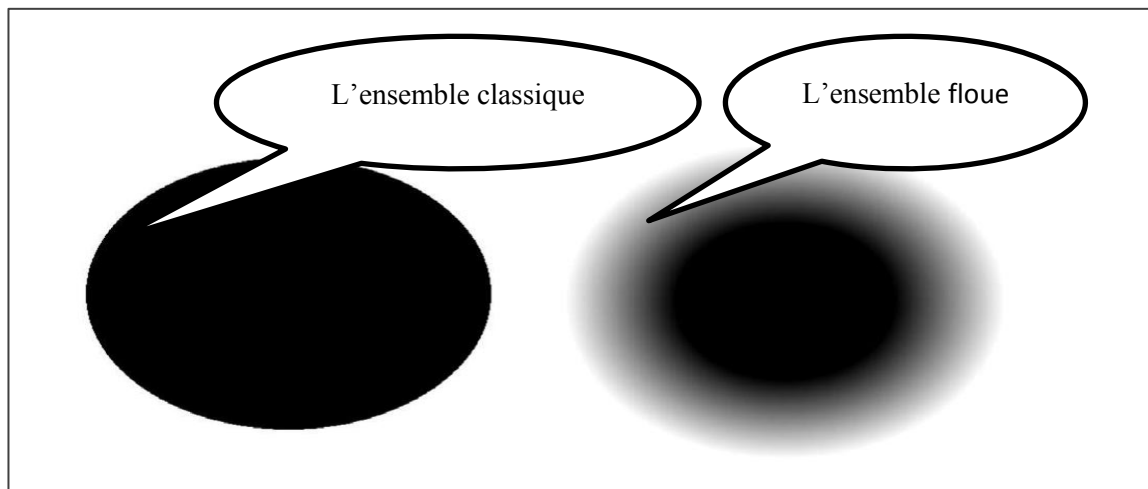


Figure 3. 4 : la différence entre un ensemble classique et l'ensemble flou [15].

Définition 1: Étant donné un ensemble de référence X , on peut indiquer les éléments de X qui appartiennent à une certaine classe de X et ceux qui n'y appartiennent pas. Cette classe est alors un sous-ensemble de X . Si l'appartenance de certains éléments de X à une classe n'est pas absolue, on peut indiquer avec quel degré chaque élément appartient à cette classe. Celle-ci est alors un sous-ensemble flou de X [17].

Définition 2: Un sous-ensemble flou H dans un univers du discours X est caractérisé par sa fonction d'appartenance $\mu_H(X)$ qui associe à chaque élément x de X une valeur dans l'intervalle des nombres réels $[0, 1]$ [17].

$$\mu_H : X \rightarrow [0, 1] \quad (3.1)$$

Ainsi un sous-ensemble flou H dans X peut être représenté par un ensemble de couples ordonnés:

$$H = \{(x, \mu_H(x)); x \in X, \mu_H(x) \in [0, 1]\} \quad (3.2)$$

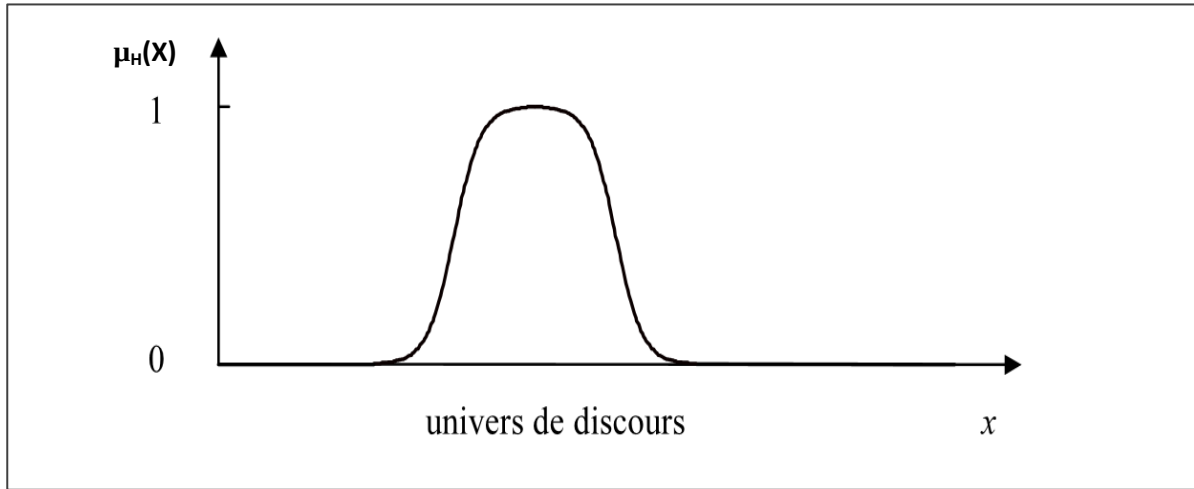


Figure 3. 5 : Ensemble flou par sa fonction d'appartenance.

2.2.2 Opérations sur les sous-ensembles flous

Les principales opérations de la théorie des ensembles flous étudiées sont l'union, l'intersection, l'égalité, complémentarité et l'inclusion. En logique floue comme en logique classique [17], dans la table Tableau 3.1 différentes opérations.

	Łukasiewicz	Gödel	Produit	Zadeh
$\alpha \otimes \beta$	$\max(\alpha + \beta - 1, 0)$	$\min(\alpha, \beta)$	$\alpha \cdot \beta$	$\min(\alpha, \beta)$
$\alpha \oplus \beta$	$\min(\alpha + \beta, 1)$	$\max(\alpha, \beta)$	$\alpha + \beta - \alpha \cdot \beta$	$\max(\alpha, \beta)$
$\alpha \Rightarrow \beta$	$\min(1 - \alpha + \beta, 1)$	1 if $\alpha \leq \beta$ β si no	$\min(1, \beta/\alpha)$	$\max(1 - \alpha, \beta)$
$\ominus \alpha$	$1 - \alpha$	1 if $\alpha = 0$ 0 si no	1 if $\alpha = 0$ 0 si no	$1 - \alpha$

Tableau 3. 1 : Table des logiques floues [32].

2.2.3 Opérateur logique l'intersection(ET)

L'opérateur logique **ET** classique est défini de la manière suivante : B et A est VRAI si et seulement si B est VRAI et A est VRAI. Cette loi est aussi notée $B \times A$ que l'on nommera Conjonction [19].

A	B	A et B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tableau 3. 2 : Table de vérité de l'opérateur logique < ET > classique.

L'opérateur **ET** flou définit comme l'intersection de deux ensembles flous B et A, respectivement étant le plus petit ensemble flou contenant B et A. l'intersection de deux ensembles flous B et A de même référentiel U est définie par l'équation suivante :

$$\forall (x, y) \in X \times Y: \mu_{B \cap A}(x, y) = \min (\mu_B(x), \mu_A(y)) \quad (3.3)$$

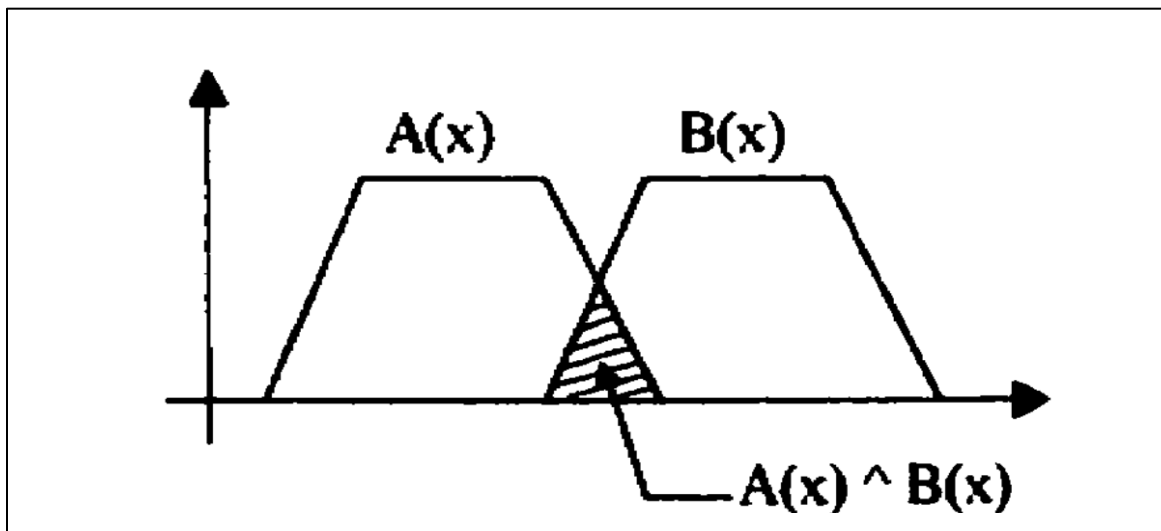


Figure 3. 6 : Illustre l'opérateur < ET > entre les ensembles flous A et B [17].

2.2.4 Opérateur logique Union (OU)

L'opérateur logique OU classique est défini de la manière suivante : $A \text{ OU } B$ est VRAI si et seulement si A est VRAI ou B est VRAI. Cette loi est aussi notée $A+B$ que l'on nommera disjonction inclusive [19].

A	B	A et B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tableau 3. 3 : Table de vérité de l'opérateur logique < OU > classique.

L'opérateur OU flou définit comme l'union de deux ensembles flous A et B , respectivement étant le plus grand ensemble flou contenu dans A et dans B d'autre part. L'union de deux ensembles flous A et B de même référentiel U est définie par l'équation suivante :

$$\forall (x, y) \in X \times Y: \mu_{B \cup A}(x, y) = \max(\mu_B(x), \mu_A(y)) \quad (3.4)$$

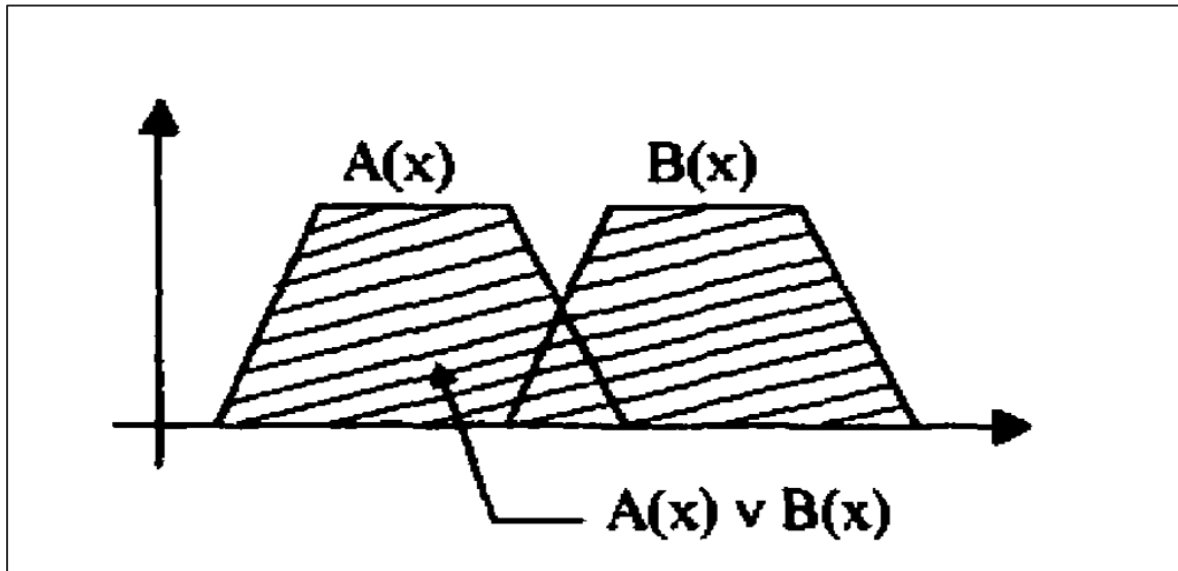


Figure 3. 7 : Union des ensembles flous A et B [17].

2.2.5 Opérateur logique complément (NOT)

L'opérateur logique NON est défini de la manière suivante : le contraire de A est VRAI si et Seulement si A est FAUX. Le contraire de B est noté $\neg B$ que l'on nomme la négation ou complément [19].

B	$\neg B$
0	1
1	0

Tableau 3. 4 : Table de vérité de l'opérateur logique < NON > classique.

Le complément d'un ensemble flou A est défini par l'équation suivante :

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.5)$$

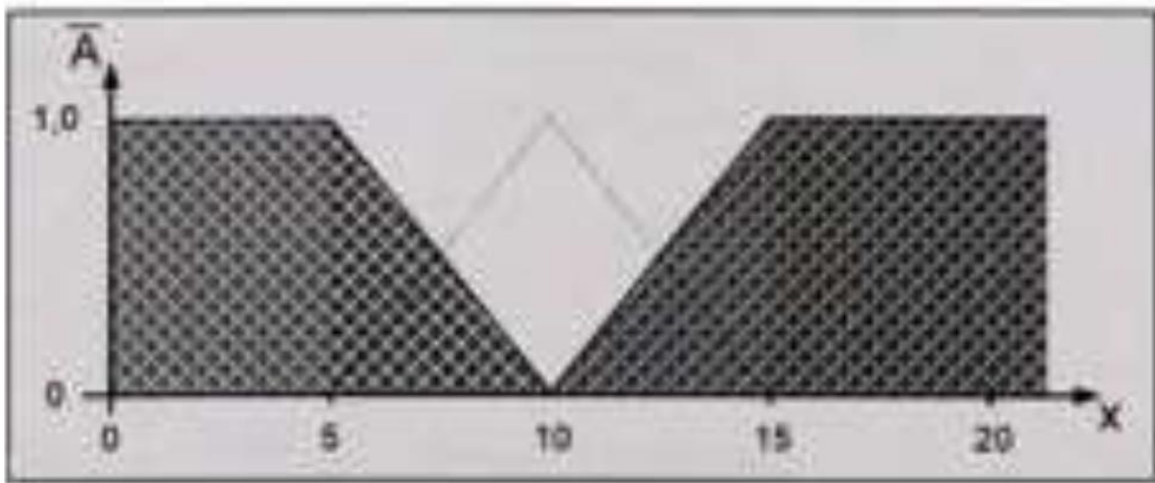


Figure 3. 8 : Complément de l'ensemble flou A [19].

Dénomination	Intersection ET : $\mu_{A \cap B}(x)$	Réunion OU : $\mu_{A \cup B}(x)$	Complément NON : $\mu_{\bar{A}}(x)$
Opérateurs de Zadeh MIN/MAX	$\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$1 - \mu_A(x)$

Tableau 3. 5 : Tableau résume les opérateurs flous.

2.2.6 Variables linguistiques

Une variable linguistique sert à modéliser les connaissances imprécises ou vagues sur une variable dont la valeur précise peut être inconnue [15].

Exemple :

Afin de décrire la température d'une pièce par une variable linguistique, on peut utiliser l'ensemble des termes suivants : $T(V) = \{\text{froid, tiède, chaud}\}$. En considérant que l'univers du discours est l'intervalle $[0, 45]$, on peut définir les termes linguistiques comme suit : «froid» est «une température environ inférieure à 10 degrés», «tiède» est «une température d'environ 17 degrés» et «chaud» est «une température environ supérieure à 24 degrés» [15].

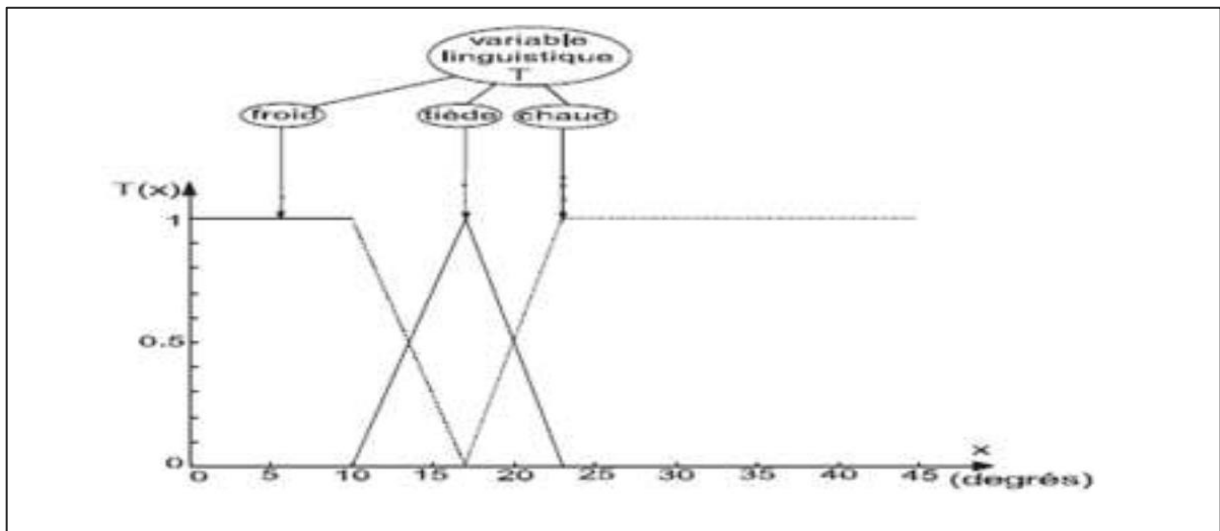


Figure 3. 9 : Variables linguistiques (V, T(V), X) pour décrire la température[15].

2.3 Système d'inférence floue

Le système d'inférence floue (fuzzy inference system) est également appelé système à base de règles floues, système expert flou et contrôleur flou, le système est désigné par son but, par exemple si la cible est une expertise en médecine, le système conçu est appelé système expert flou.

La structure de système d'inférence floue peut être résumée dans les quatre étapes suivantes :

2.3.1 Fuzzification

La fuzzification est réalisée dans l'interface d'entrée du système d'inférence floue. Durant cette phase, les informations issues du système sont tout d'abord normalisées. Ensuite, les données normalisées sont transformées en qualifications linguistiques, en utilisant des règles sémantiques définies par un expert [55].

Durant la phase de normalisation, chaque mesure issue du système est modifiée pour fournir une valeur appartenant à un univers du discours relativement simple. On peut choisir comme univers du discours un intervalle centré sur zéro : $[-c, +c]$. Si la mesure initiale x est comprise dans un autre intervalle $[a, b]$, la normalisation est souvent réalisée par transformation linéaire, selon [55]:

$$Y = 2 * c (x - (a + b) / 2) / (b - a) \quad (3.6)$$

L'univers du discours est ensuite représenté par une variable linguistique, qui comporte un nombre assez restreint de termes (en général trois, cinq ou sept) de façon à limiter le nombre de règles [55].

Enfin, les valeurs normalisées déduites de chacune des entrées sont transformées en qualifications linguistiques, en utilisant les variables linguistiques correspondantes.

2.3.2 Règles floues

Les règles floues permettent de déduire des connaissances concernant l'état du système en fonction des qualifications linguistiques fournies par l'étape de fuzzification. Ces connaissances sont également des qualifications linguistiques [55].

Habituellement, les règles floues sont déduites des expériences acquises par les opérateurs ou les experts. Ces connaissances sont traduites en règles simples pouvant être utilisées dans un processus d'inférence floue. Par exemple, si un expert exprime la règle «si la température de la pièce est basse, il faut augmenter la température du climatiseur», le système utilisera une règle du genre «si p alors q » [55].

2.3.3 Inférence floue

Consiste à utiliser le moteur d'inférence, qui est un mécanisme permettant de condenser l'information d'un système à travers d'un ensemble de règles définies pour la représentation d'un problème quelconque. Chaque règle délivre une conclusion partielle qui est ensuite agrégée aux autres règles pour fournir une conclusion (agrégation). Pourtant, on utilise souvent les inférences floues définies par Mamdani et Sugeno, l'inférence de Mamdani est plus intuitive et plus générale [39].

2.3.3.1 Inférence floue de Mamdani

Supposons que la base de connaissances est constituée de n règles d'inférence contenant chacune m prémisses et une conclusion. Le processus d'inférence peut être décrit par le schéma suivant [39]:

R1 : Si $(x_1 \text{ est } A_{11}) \text{ et } \dots \text{et } (x_m \text{ est } A_{1m})$; alors $(Y \text{ est } B_1)$

R2 : Si $(x_1 \text{ est } A_{21}) \text{ et } \dots \text{et } (x_m \text{ est } A_{2m})$; alors $(Y \text{ est } B_2)$

.....

R_n : Si $(x_1 \text{ est } A_{n1}) \text{ et } \dots \text{et } (x_m \text{ est } A_{nm})$; alors $(Y \text{ est } B_n)$

Dans lequel $x_1, \dots, x_m$ sont des éléments des univers du discours $X_1, \dots, X_m$ et A_{ji} , $(j = 1, \dots, m)$, sont des quantités floues sur l'univers du discours X_i , et B_j , $(j = 1, \dots, m)$, sont également des quantités floues sur l'univers du discours Y . Afin de définir une seule prémisse pour une règle i , les propositions « x_j est A_{ij} », $(j = 1, \dots, m)$, sont combinées par l'opérateur minimum. La fonction d'appartenance de cette prémisse unique est donc donnée par :

$$\mu_{R_{Ai}}(x_1, \dots, x_m) = \mu_{A_{i1}}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{A_{im}}(x_m) \quad (3.7)$$

2.3.3.2 Inférence floue de Sugeno

Sugeno a proposé une méthode d'inférence floue qui garantit la continuité de la sortie. Cette méthode d'inférence s'avère très efficace dans des applications faisant intervenir à la fois des techniques linéaires, d'optimisation et adaptatives. Dans l'inférence de Sugeno, les règles floues sont exprimées de la façon suivante [39] :

R_i : Si $(x_1 \text{ est } A_{i1}) \text{ et } \dots \text{et } (x_m \text{ est } A_{im})$; alors $y = f_i(x_1, \dots, x_m)$

Dans laquelle $x_1, \dots, x_m$ et y sont des éléments des univers du discours $X_1, \dots, X_m$ et

$A_{i_1}, \dots, A_{i_m}$ sont des termes linguistiques sur ces mêmes univers du discours. y est une fonction de $x_1, \dots, x_m$.

2.3.4 Defuzzification

Qui consiste à caractériser les variables linguistiques utilisées dans le système. Il s'agit donc d'une transformation des entrées réelles en une partie floue définie sur un espace de représentation lié à l'entrée. Cet espace de représentation est normalement un sous-ensemble flou. Durant l'étape de la fuzzification, chaque variable d'entrée et de sortie est associée à des sous-ensembles flous [38].

Il y'a plusieurs méthodes de défuzzification, la plus utilisé est la règle de centre de gravité [41]:

$$y_{cg} = \left(\sum_{i=1}^m \mu_{R_i} * y_i \right) / \sum_{i=1}^m \mu_{R_i} \quad (3.8)$$

3. Conclusion

La logique floue fournit une manière alternative de représenter les attributs linguistiques et subjectifs du monde réel en informatique, elle peut être appliquée aux systèmes de contrôle et à d'autres applications afin d'améliorer l'efficacité et la simplicité du processus de conception. Nous avons parlé dans ce chapitre de la définition de la logique floue et incertitude, nous avons donné la différence entre la logique classique et logique floue, nous avons également défini le fonctionnement du système d'inférence floue. Dans le prochain chapitre, nous parlerons des ontologies floues.

CHAPITRE 4

LES ONTOLOGIES FLOUES

Introduction

Les ontologies représentent un grand intérêt pour divers domaines, et en particulier pour le domaine du Web. Cependant, leur application au Web sémantique, qui comporte souvent des imperfections (imprécisions, incertitudes et ambiguïtés), connaît des difficultés. Les ontologies doivent devenir capables de représenter non seulement des notions précises, mais également des notions floues.

Dans ce chapitre, nous définissons l'ontologie floue, illustrons la différence entre l'ontologie classique et l'ontologie floue, les composantes des ontologies floue et approche de la construction, dans ce dernier, nous expliquons des logiques de descriptions.

1. Définition d'ontologies floues

Les ontologies floues se basent sur l'intégration de la logique floue à la définition des ontologies précises pour représenter les incertitudes et les imprécisions dans le cadre du Web sémantique. Nous pouvons définir l'ontologie floue comme une ontologie qui possède, en plus des composants de base (concepts, relations, axiomes et instances), de nouveaux composants conformes à la logique floue : les concepts flous et les relations floues [7].

2. Différences entre l'ontologie floue et l'ontologie classique

Le formalisme conceptuel soutenu par l'ontologie n'est pas suffisant pour traiter des informations vagues que l'on trouve couramment dans de nombreux domaines d'application. Bibillo et Straccia [43] décrivent comment introduire le flou dans l'ontologie. Pour ce faire, ils définissent un cadre basé sur Fuzzy DL et Fuzzy OWL. Les principales différences entre l'ontologie floue et l'ontologie classique sont illustrées dans le tableau 4.1.

Aspect	Ontologie floue	Ontologie classique
Termes localisés	Ne se produit pas	Numéro pour la désambiguïsation
Extension de requête	Dépend de la valeur de appartenance	Dépend de l'emplacement seulement

Personnalisation	Simple, basé sur la modification d'appartenance valeurs	Examiner une nouvelle ontologie et / ou une ontologie partage
Emplacements intermédiaires pour le regroupement	Inutile	Nécessaire pour la construction - peut être utile
Stockage requis	Dépend du nombre de termes dans l'ontologie et les valeurs des membres des relations, peuvent être plus petit ou plus grand que classique	Dépend du nombre de termes dans l'ontologie
Représentation des connaissances	Relatif à utiliser	Relatif à la structure

Tableau 4. 1 : Les principales différences entre l'ontologie floue et l'ontologie classique [44].

3. Les composants des ontologies floues

Une ontologie floue comprend [7]:

- Des concepts
- Des relations
- Des axioms
- Des instances.

3.1. Les concepts flous

Un concept flou est considéré comme un ensemble flou. Ses instances possèdent ainsi des degrés d'appartenance prenant leur valeur dans l'intervalle $[0,1]$. Ces degrés sont calculés conformément aux formules de calcul relatives à la fonction d'appartenance définie pour le concept, Figure 4.1 montrer le concept flou [7].

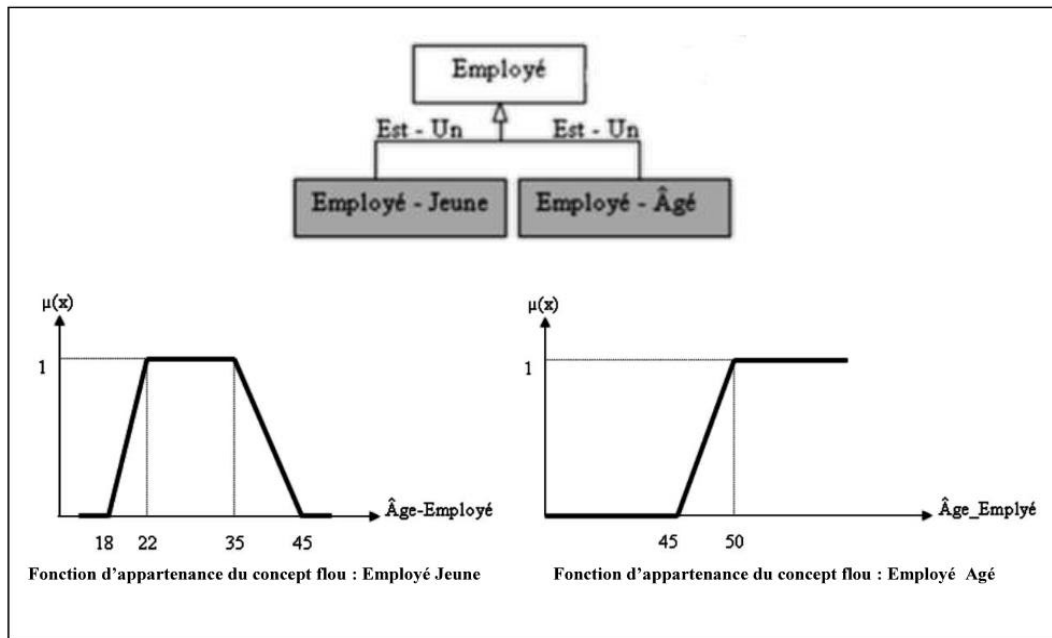


Figure 4. 1 : Concepts flous[22].

3.2. Les relations floues

Une relation floue est aussi définie comme un ensemble flou. Ses instances possèdent ainsi des degrés d'appartenance prenant leurs valeurs dans l'intervalle $[0,1]$. Ces degrés sont calculés conformément aux formules de calcul relatives à la fonction d'appartenance définie pour la relation.

La relation floue « Acquiert », relie les deux concepts précis « Employé » et « Compétence-Acquise ». Elle dépend de la valeur de la propriété « Niveau-Acquisition ». Elle a deux ensembles flous : Compétence-Maîtrisée et Compétence-Parfaitement-Maîtrisée , la Figure 4.3 montrer les relation floues [7].

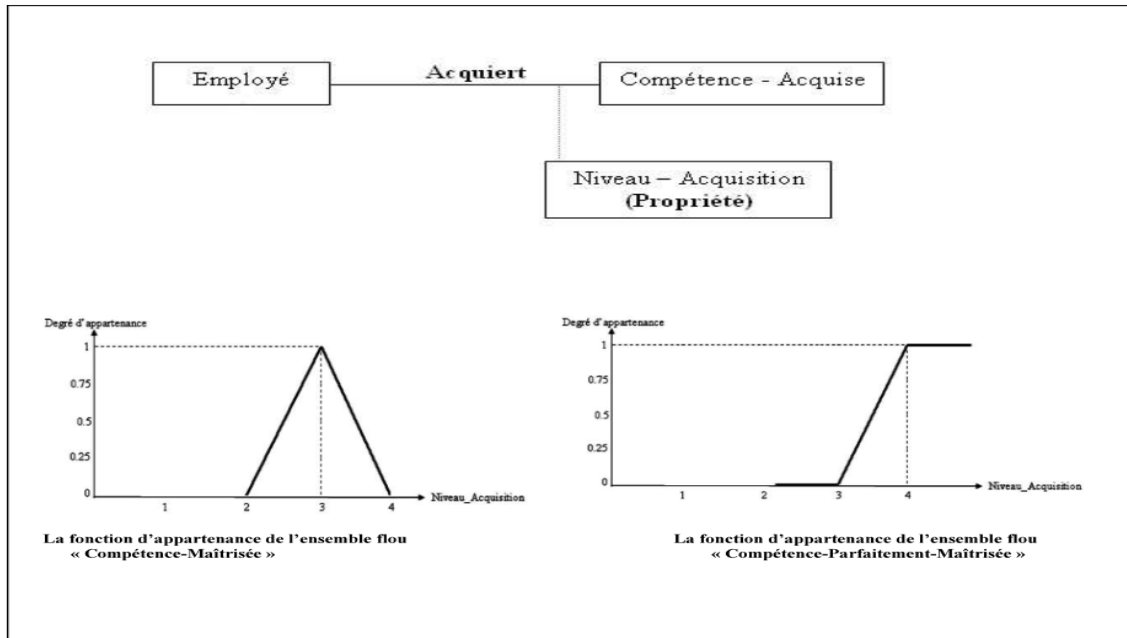


Figure 4. 2 : Relation floue [22].

3.3. Les axiomes

À part leurs utilisations classiques, les axiomes servent à exprimer les formules de calcul des fonctions d'appartenance.

Exemple :

Axiomes pour le concept flou « Employé-Jeune » de la Figure 2.10:

- $\text{Emp_Jeune}(\hat{\text{Age}}) = (\hat{\text{Age}} - 18) / (22 - 18)$ si $\hat{\text{Age}} \in [18 ; 22]$;
- $\text{Emp_Jeune}(\hat{\text{Age}}) = 1$ si $\hat{\text{Age}} \in [22 ; 35]$;
- $\text{Emp_Jeune}(\hat{\text{Age}}) = (45 - \hat{\text{Age}}) / (45 - 35)$ si $\hat{\text{Age}} \in [35 ; 45]$;
- $\text{Emp_Jeune}(\hat{\text{Age}}) = 0$ ailleurs [7].

3.4. Les instances

Dans les ontologies floues l'appartenance d'une instance a un composant flou n'est pas sure. Elle est déterminée par une variable probabiliste prenant ses valeurs entre 0 et 1, et déterminée par une fonction d'appartenance.

Exemple :

Mehmed est un Employé. Il a comme âge 36 ans. On peut alors le considérer comme un « Employé-Jeune » avec un degré d'appartenance de 0.9, calculé selon la formule de calcul de la fonction d'appartenance trapézoïdale définie précédemment [7].

4. Approche de la construction des composants d'ontologies floues

Notre approche concerne la définition d'un dictionnaire des concepts précis et flous d'une ontologie floue à partir d'un corpus de données sémantiques floues. Elle concerne aussi la définition des relations d'héritage et de synonymie du fait que nous voulons définir une hiérarchie et une organisation entre les concepts. Elle nécessite l'utilisation d'outils pour assister l'ontologiste tout au long de la phase d'évaluation des besoins et de conceptualisation. Pour atteindre ces objectifs, selon [34] il y a cinq étapes suivantes (cf. Figure 4.4) :

- a. Constitution de corpus de données sémantiques floues.
- b. Traitement automatique de corpus de données sémantiques floues.
- c. Constitution de dictionnaires des concepts pour les ontologies floues.
- d. Constitution des relations d'héritage et de synonymie pour les ontologies floues.
- e. Visualisation de la structure de l'ontologie floue.

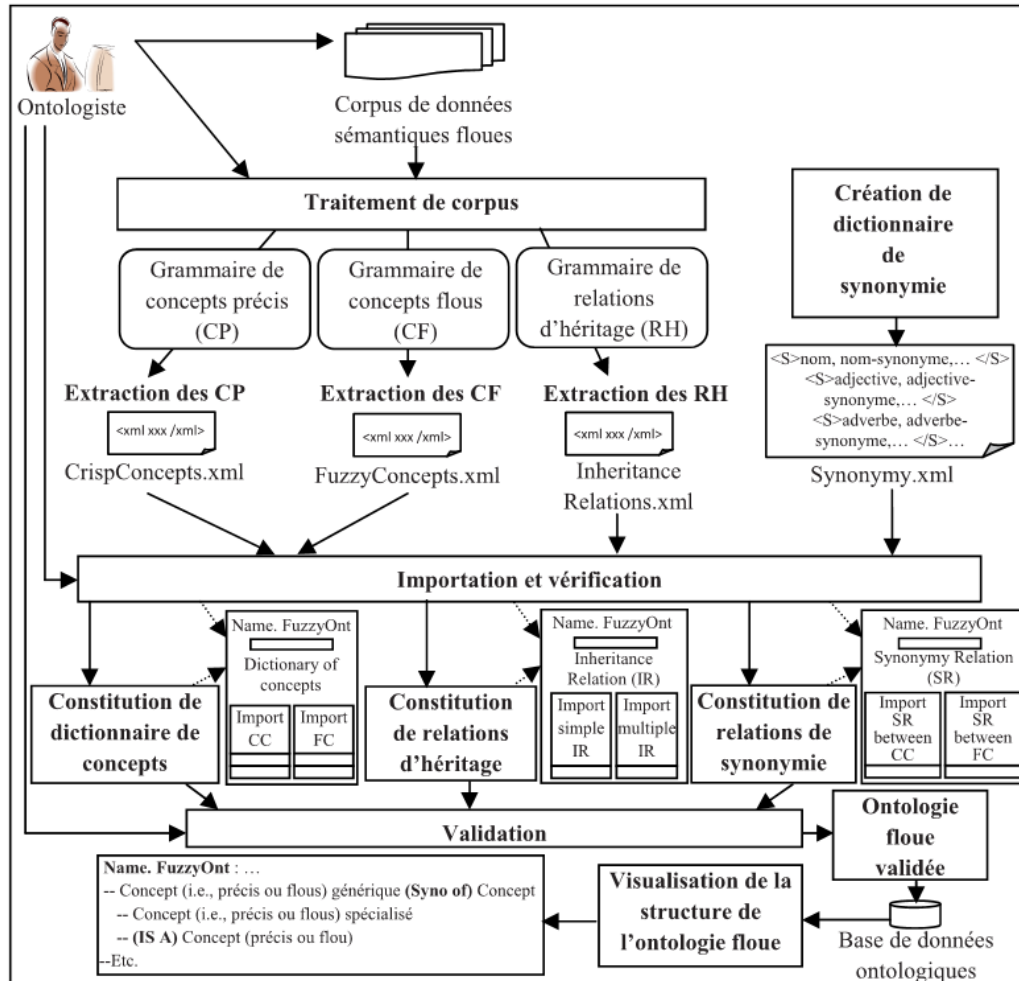


Figure 4.3 : Approche de construction des composants d'ontologies floues [33].

5. Logiques de descriptions

Les logiques de descriptions anciennement appelées logiques terminologiques sont des formalismes de représentation de connaissances s'appuyant sur les notions de concepts(ou classes), de rôles (ou propriétés) et d'instances (ou objets). Les concepts représentent des ensembles d'instances et les rôles représentent des relations binaires.

La plupart des logiques de descriptions divisent la connaissance en deux niveaux [33]:

- les informations terminologiques:** définition des notions basiques ou dérivées et de comment elles sont reliées entre elles. Ces informations sont "génériques" ou "globales", vraies dans tous les modèles et pour tous les individus.

- b. **les informations sur les individus**: ces informations sont "spécifiques" ou "locales", vraies pour certains individus particuliers.

Toutes les connaissances sont alors prises en compte selon deux niveaux :

- La représentation et la manipulation des concepts et des rôles relèvent du niveau *terminologique* (appelé aussi **T-Box**).
- La description et la manipulation des individus relèvent du niveau *factuel* ou niveau *assertion el* (appelé aussi **A-Box**).

T-Box	A-Box
Femme $\sqsubseteq$ T	Humain (Mohamed)
Male $\sqsubseteq$ T	Femme (Mohamed)
Femme $\sqsubseteq$ T $\sqcap$ $\neg$ Male	Femme (Fatima)
Male $\sqsubseteq$ T $\neg$ Femme	Humain (Said)
Animal $\equiv$ Male $\sqcup$ Femme	$\neg$ Femme (Saïd)
Humain $\sqsubseteq$ Animal	Homme (Salim)
Femme $\equiv$ Humain $\sqcap$ Femme	relationParentEnfant (Fatima, Mohamed)
Homme $\equiv$ Humain $\sqcup$ $\neg$ Femme	relationParentEnfant (Said, Salim)
Mère $\equiv$ Femme $\sqcup$ $\exists$ relationParentEnfant	
Père $\equiv$ Homme $\sqcup$ $\exists$ relationParentEnfant	
MèreSansFille $\equiv$ Mère	
$\sqcap \forall$ relationParentEnfant. $\neg$ Femme	
relationParentEnfant $\sqsubseteq$ TR	

Tableau 4. 2 : Une base de connaissances composée d'une T-Box et d'une A-Box [28].

A. T-Box

Une T-Box contient des axiomes terminologiques de la forme $C \equiv D$ ou $C \sqsubseteq D$. La première sert à énoncer des relations d'équivalence entre concepts, alors que la seconde permet d'exprimer des relations d'inclusion. Une interprétation I satisfait un axiome $C \sqsubseteq D$ si et seulement si $C^I \sqsubseteq D^I$. Une interprétation I satisfait un axiome $C \equiv D$ si et seulement si $C^I = D^I$. Une interprétation satisfait une T-Box (est un modèle de T-Box) si et seulement si l'interprétation satisfait tous les axiomes de la T-Box [28].

a) Les entités atomiques

Les concepts atomiques et rôles atomiques constituent les entités élémentaires d'une TBox. Les noms débutant par une lettre majuscule désignent les concepts, alors que ceux débutant par une lettre minuscule dénomment les rôles (par exemple : les concepts Femelle, Mâle, Homme et Femme, et le rôle relationParentEnfant) [28].

b) Les concepts et rôles atomiques prédéfinis

Les logiques de descriptions prédéfinissent minimalement quatre concepts atomiques : le concept $\top$ et le rôle $\top_R$, les plus généraux de leur catégorie respective, et le concept $\perp$ ainsi que le rôle $\perp_R$, les plus spécifiques [28].

c) Les entités composées

Les concepts et rôles atomiques peuvent être combinés au moyen de constructeurs pour former respectivement des concepts et des rôles composés. Par exemple, le concept composé Mâle u Femelle résulte de l'application du constructeur $\sqcap$ aux concepts atomiques Mâle et Femelle. Le concept Mâle u Femelle s'interprète comme l'ensemble des individus qui appartiennent aux concepts Mâle et Femelle [28].

B. A-Box

Une A-Box contient un ensemble d'assertions sur les individus : des assertions d'appartenance et des assertions de rôle. Chaque A-Box doit être associée à une T-Box, une A-Box désigne des individus dans ses assertions par des noms qu'elle leur donne. Ce mémoire utilise le terme individu nommé (nominal ou individual name, en anglais) pour référer à ces noms. L'exemple du tableau 4.1 comprend les individus nommés suivants : Mohamed, Fatima, Saïd et Salim. La suite de ce mémoire représente par les lettres a, b les individus nommés. Une fonction d'interprétation assigne à chacun de ces noms a , un individu a^I tel que $a^I \in \Delta^I$. Les moteurs d'inférence pour LD adoptent généralement l'hypothèse de noms uniques, c'est-à-dire que pour tout individu nommé a et b , $a^I \neq b^I$ [20].

5.1. Famille des langages des logiques de descriptions

Il existe plusieurs langages de descriptions. Dans ce qui suit, nous présentons un langage minimal appelé $\mathcal{AL}$ (Attributive Language) qui a été introduite par Schmib et Smolka en 1991, et la plus petite logique de description contenant la logique propositionnelle est $\mathcal{ALC}$

(équivalent à la logique multimodale $K_{(m)}$) cela signifie $\mathcal{AL}$ et complémentation C . Le langage $\mathcal{AL}$ s'appuie sur les langages $\mathcal{FL}$ et $\mathcal{FL}^+$, présentés ci-dessous, qui sont les langages pour lesquels ont été établis les premiers résultats théoriques sur les LDs [33].

5.1.1. La syntaxe d' $\mathcal{AL}$

La grammaire d' $\mathcal{AL}$ est donnée par le tableau suivant :

$C, D \rightarrow A$	(concept atomique)
$ \top$	(le concept universel)
$ \perp$	(le concept le plus spécifique)
$ \neg A$	(la négation atomique)
$ C \sqcap D$	(l'intersection)
$ \exists R.T$	(quantification existentielle limitée)
$ \forall R.C$	(quantification universelle complète)

Figure 4. 4 : La grammaire des expressions conceptuelles selon AL [20].

A est concept atomique C, D sont des concepts composés et R est un rôle atomique (AL ne permet pas la spécification de rôles à l'aide de constructeurs : rôles composés) [33].

- ✓ L'interprétation de $\top$ est le domaine Δ tout entier tandis que celle de $\perp$ se réduit à l'ensemble vide.
- ✓ Le constructeur $\neg A$: est utilisé pour évoquer la négation qui ne peut être appliquée qu'à un concept atomique, c'est-à-dire les individus pour une interprétation qui n'appartiennent pas au concept atomique A .
- ✓ Le constructeur $C \sqcap D$: permet de faire la conjonction de deux concepts composés, ce qui représente l'ensemble des individus appartenant à la fois au concept C et au concept D pour une interprétation.
- ✓ Le quantificateur existentiel $\exists R.T$: désigne l'ensemble des individus, membres du domaine du rôle R pour une interprétation donnée.

- ✓ Le quantificateur universel $\forall R.C$: désigne l'ensemble des individus du domaine du rôle R qui sont en relation, par le biais de R , qu'avec les individus du concept C , pour une interprétation donnée [33].

Les concepts et les rôles (c'est-à-dire des relations entre concepts) atomiques constituent les entités élémentaires d'une T-box. Ces derniers peuvent être combinés au moyen de constructeurs pour former des concepts et des rôles composés. Par exemple, le concept composé $\text{Male} \sqcap \text{Femelle}$ est le résultat de l'utilisation du constructeur $\sqcap$ sur les concepts atomiques Mâle et Femelle. L'interprétation du concept ainsi composé est « l'ensemble des individus qui appartiennent à la fois au concept Male et au concept Femelle » [33].

5.1.2. La syntaxe de SHIQ

La grammaire de SHIQ est donnée par le tableau suivant :

$C, D \rightarrow T$ plus général
$\perp$ Absurde (le plus spécifique)
P concept primitif
$C \sqcap D$ conjonction de concepts
$C \sqcup D$ disjonction de concepts
$\neg C$ négation
$\forall r.C$ restriction universelle (définit le co-domaine du rôle r)
$\exists r.C$ restriction existentielle (il existe au moins un objet relié par le rôle r au concept C)
$\leq nr.C$ cardinalité maximum
$\geq nr.C$ cardinalité minimum
$r \rightarrow q$ rôle primitif
$r1 \sqcap r2$ conjonction de rôles
$r1 \sqcup r2$ disjonction de rôles

Tableau 4. 3 : La grammaire des expressions conceptuelles selon SHIQ [7].

5.1.3. La sémantique de SHIQ

La figure montrée montre La sémantique de SHIQ.

$(C1 \sqcap C2)$	$= C1^I \sqcap C2^I$
$((\forall r. C))$	$= \{a \in \Delta^I / \forall b \in \Delta^I \text{ si } (a, b) \in r^I \text{ alors } b \in C^I\}$
$((\geq n R.C))$	$= \{a \in \Delta^I / \#\{\forall b \in \Delta^I / (a, b) \in r^I \text{ et } b \in C^I\} \geq n\}$

Tableau 4. 4 : Sémantique de la logique SHIQ [7].

5.1.4. La syntaxe d'AL Cs

La grammaire d' $\mathcal{ALC}$ est donnée par le tableau suivant :

$\neg C$	non C ou Complément de C
$C \sqcup D$	l'union de concepts (C ou D)
$C \sqcap D$	l'intersection de concepts (C et D)
$\forall R.C$	la quantification existentielle (existential restriction)
$\exists R.C$	la quantification universelle (universal restriction)

Tableau 4. 5 : La grammaire des expressions conceptuelles selon ALC [49].

Dans ce tableau nous avons Cet D des concepts atomiques ou complexes et R une relation (rôle).

Exemple [49]:

$\exists a \text{Enfant. Personne}$: personne ayant au moins un enfant.

$\exists a \text{Enfant. Femme}$: personne ayant au moins une fille.

5.1.5. La sémantique d'AL

La sémantique d'une LD est donnée au moyen d'une interprétation I qui est un couple (Δ^I, I) où :

Δ^I : est le domaine d'interprétation. C'est un ensemble non vide d'individus.

I : est la fonction d'interprétation qui fait correspondre à un concept atomique T un ensemble

T^I tel que $T^I \subseteq \Delta^I$ et à chaque rôle atomique R une relation binaire $R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$ [33].

La sémantique de $\mathcal{AL}$ défini plus haut est donnée par la figure suivante [33]:

$$\begin{aligned}
 \top^I &= \Delta^I \\
 \perp^I &= \Phi \\
 (\neg A)^I &= \Delta^I \setminus A^I \\
 (C \cap D)^I &= C^I \cap D^I \\
 (\forall R.C)^I &= \{a \in \Delta^I \mid \forall b, \text{ if } (a, b) \in R^I \text{ then } b \in C^I\} \\
 (\exists R.\top)^I &= \{a \in \Delta^I \mid \exists b. (a, b) \in R^I\}
 \end{aligned}$$

Figure 4. 5 : Sémantique de la logique AL [33].

5.1.6. Les extensions d'AL

Il existe trois façons d'étendre $\mathcal{AL}$:

a) Ajouter des constructeurs de concepts ou de rôles

- O : qui permet la description de concepts par l'énumération d'individus nommés.
- U : désigne l'union de concepts.
- E : la quantification existentielle complète.
- C : la négation complète.
- I : les rôles inverses. H : l'inclusion entre rôles.
- F, Q, N : sont trois variantes de la contrainte de cardinalité sur le rôle [30].

Le Tableau 4.6 illustre des exemples de constructeurs pour augmenter $\mathcal{AL}$.

Nom du constructeur	Constructeur	Syntaxe du constructeur	Sémantique du constructeur
Enumeration	$[O]$	$\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$	$\{a_1^I, a_2^I, \dots, a_n^I\}$
Disjonction	$[U]$	$C \sqcup D$	$C^I \cup D^I$
quantification existentielle	$[E]$	$\exists R. C$	$\{a \in \Delta^I \mid \{\exists b. (a, b) \in R^I\} \wedge b \in C^I\}$
négation complete	$[C]$	$\neg C$	$\Delta^I \setminus C^I$
rôle inverse	$[I]$	R_1^{-1}	$\{(y, x) \mid (x, y) \in R_1^I\}$

cardinalité sur les rôles	[Q]	$\geq n R.C$ $\leq n R.C$ $= n R.C$	$\{a, b \in \Delta^I \mid \{(a, b) \in R^I\} \wedge b \in C^I \mid \geq n\}$ $\{a, b \in \Delta^I \mid \{(a, b) \in R^I\} \wedge b \in C^I \mid \leq n\}$ $\{a, b \in \Delta^I \mid \{(a, b) \in R^I\} \wedge b \in C^I \mid = n\}$
conjonction de rôles	[R]	$R_1 \sqcap R_2$	$R_1^I \cap R_2^I$

Tableau 4. 6 : Exemple de constructeurs de rôles et concepts pour étendre AL [28].

b) L'extension par ajout de contraintes sur l'interprétation des rôles

La spécification d'un ensemble de rôles transitifs NR^+ , constitue R^+ une extension par ajout de contraintes sur l'interprétation des rôles, qui permet l'expression de rôles transitifs [30].

c) L'extension des types primitifs (D)

Une dernière extension, symbolisée par la lettre (D), ajoute le support des types primitifs. Cette extension augmente $\mathcal{AL}$ d'un second domaine d'interprétation ΔD^I disjoint avec Δ^I et qui représente l'ensemble des valeurs de type primitif [30].

6. Logiques de descriptions floues

Les Logiques de descriptions floues (Fuzzy DLs) sont des extensions des logiques de descriptions classiques, elles ont été proposées en tant que langages pouvant représenter et raisonner sur des connaissances vagues ou imprécises. Ces extensions ont gagnés une attention considérable ces dernières années, d'une part parce qu'elles sont indispensables pour les applications qui sont par nature imprécise, comme l'analyse multimédia, les applications géo spatiales et bien plus d'autres, tandis que d'autre part elles peuvent être appliquées aux applications du Web sémantique, comme la représentation des ontologies qui modélisent des domaines dont les connaissances sont imprécise [20].

Depuis le travail de Yen [50], de nombreuses propositions ont été faites pour introduire des fonctionnalités floue dans les logiques de descriptions et dans les langages du Web sémantique, puisque la théorie des sous-ensembles flous a pour but de fournir une représentation des classes et des relations avec une appartenance progressive, il serait plus approprié de les utilisés comme modèle pour représenter des concepts ayant une définition un peu vague et imprécise [20].

6.1. La sémantique des logiques de descriptions floues

Les LDs classiques sont interprétées grâce à des concepts ensemblistes classiques : ensemble, relation binaire, appartenance, etc. Les extensions floues des LDs ont une sémantique exprimée grâce à la théorie des sous-ensembles flous, un élément appartient à l'ensemble avec un certain degré. Plus formellement, soit X un ensemble d'éléments, un sous-ensemble flou A de X , est défini par une fonction d'appartenance $\mu_A(x)$, ou simplement $A(x)$. Cette fonction affecte tout $x \in X$ à une valeur comprise entre 0 et 1 qui représente le degré dont lequel cet élément appartient à X [20].

Dans ce nouveau cadre, la théorie des ensembles classiques et les opérations logiques sont appliquées par des fonctions mathématiques spéciales. Plus précisément le complément flou qui serait une fonctions unaire de la forme $C : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, l'intersection et l'union floue sont assurées par deux fonctions binaires de la forme $\mathcal{T} : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ et $\mathcal{U} : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, appelées respectivement les opérations t-norme et t-conorm, et l'implication floue assurée par une fonction binaire de la forme $\mathcal{J} : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$. Afin de produire les compléments, les conjonctions, disjonctions flous et leurs implications, ces fonctions doivent satisfaire certaines propriétés mathématiques, Par exemple, les opérateurs doivent satisfaire les propriétés suivantes : $C(0) = 1$, $C(1) = 0$, $\mathcal{T}(1, a) = a$ et $\mathcal{U}(0, a) = a$ [20].

Tournant notre attention vers les propriétés des relations floue. Une relation floue R de $X \times X$ est transitive si $\forall a, b, c \in X, R(a, c) \geq \sup \{R(a, b), R(b, c)\}$, R est réflexive si $\forall a \in X, R(a, a) = 1$, tandis qu'elle est dite réflexive si $\forall a \in X, R(a, a) = 0$. L'inverse d'une relation floue $R : X \times Y \rightarrow [0, 1]$ est une relation floue de la forme $R^- : Y \times X \rightarrow [0, 1]$ défini comme $R^-(b, a) = R(a, b)$ [20].

Les extensions floues des logiques de descriptions ont une sémantique exprimée grâce à la théorie des sous-ensembles flous : pour une interprétation $I = (\Delta^I, .^I)$, un concept C s'interprète comme un sous-ensemble flou C^I de Δ^I , un rôle R comme une relation binaire floue R^I de $\Delta^I \times \Delta^I$, l'appartenance d'une instance a à un concept C – qui est $a^I \in C^I$ dans le cas classique- devient le degré d'appartenance de a^I à C^I : $\mu_{C^I}(a^I)$ [20].

I doit satisfaire les équations de l'interprétation suivantes :

$$\begin{aligned}
 &\forall x \in \Delta^I \\
 &\mu T^I(x) = 1 \\
 &\mu \perp^I(x) = 0 \\
 &\mu (C \sqcap D)^I(x) = \min \{ \mu C^I(x), \mu D^I(x) \} \\
 &\mu (C \sqcup D)^I(x) = \max \{ \mu C^I(x), \mu D^I(x) \} \\
 &\mu \neg^I(x) = 1 - \mu C^I(x) \\
 &\mu (\forall R.C)^I(x) = \inf_{y \in \Delta^I} \{ \max \{ 1 - \mu R^I(x, y), \mu C^I(y) \} \} \\
 &\mu (\exists R.C)^I(x) = \sup_{y \in \Delta^I} \{ \max \{ 1 - \mu R^I(x, y), \mu C^I(y) \} \}
 \end{aligned}$$

Figure 4. 6 : équations de l'interprétation standard [33].

Notant que la sémantique de $(\exists R.C)^I(x)$ peut être vue comme une formule ouverte du 1^{er} ordre de la forme : $\forall y F_R(x, y) \wedge F_C(y)$, quant au quantificateur existentiel $\exists$ est considérée comme une disjonction sur les éléments du domaine [20].

De même, $\mu_{(\forall R.C)^I}(x) = \inf_{y \in \Delta^I} \{ \max \{ 1 - \mu R^I(x, y), \mu C^I(y) \} \}$ est liée à la formule ouverte de premier ordre $\forall y \neg F_R(x, y) \vee F_C(y)$, où le quantificateur universel $\forall$ est considérée comme une conjonction sur les éléments du domaine. La sémantique des axiomes et des assertions classiques ($C \sqsubseteq D$, $C \sqequiv D$, $a : C R(a, b)$) est inchangée, sauf que, l'inclusion et l'égalité sont des opérations entre sous-ensembles flous et que l'appartenance devient un degré d'appartenance [20].

Concernant les inférences des LDs floues, nous sommes concentrés sur la « subsomption floue ». Ce terme désigne le fait, étant donnés deux concepts flous C et D de tester si (oui ou non) $C \sqsubseteq D$. On aura $C \sqsubseteq D$ si, pour tout modèle I de la base de connaissance, $C^I \sqsubseteq D^I$, au sens de l'inclusion entre ensembles flous, i.e. $\mu C^I(x) \leq \mu D^I(x) \forall x \in \Delta^I$ [20].

6.2. Les moyens de logiques de descriptions floues

Les LDs floues diffèrent entre elles principalement par le moyen par lequel elles introduisent le flou c'est-à-dire par les éléments syntaxiques (constructeurs, axiomes,

assertions) pour lesquels l'interprétation classique s'avère insuffisante. L'auteur dans [45] a distingué trois de ces moyens :

- Utilisation de prédicats flous dans les domaines concrets ;
- Utilisation de modificateurs sur les concepts ;
- Association aux axiomes ou aux assertions de la base de connaissances d'informations concernant leurs degrés de vérité.

[46] relève de (a). Il présente également un algorithme de test de subsomption floue. La seule façon d'introduire du flou dans ce formalisme passe par la définition explicite d'une fonction d'appartenance : elle repose donc sur des domaines concrets.

[47] relève de (b). La LD floue décrite dans cette étude est une extension d' $\mathcal{ALC}$ et s'appuyant sur le constructeur mC où m est un modificateur et C est un concept. La sémantique de mC , pour une interprétation I , est simplement $(mC)^I = m(C^I)$. Les modificateurs m utilisés dans [47] sont des applications continues et surjectives pour lesquelles il existe $x_1 \in [0, 1]$ tel que la restriction de m à $[0, x_1]$ (respectivement, à $[x_1, 1]$) est affine croissante (respectivement, décroissante). L'exemple du modificateur plus-ou-moins correspond à $x_1 = 0,8$. Plus-pu-moins $(0) = 0$, et plus-ou-moins $(1) = 0,8$. Par exemple, on peut définir le concept `ProduitPlusOuMoinsSucré` par l'axiome `ProduitPlusOuMoinsSucré` $\equiv$ plus-ou-moins`ProduitSucré`.

Le degré de subsomption est défini et son calcul s'appuyant sur la méthode des tableaux sémantiques est décrit. Par exemple, si m est un modificateur défini par $x_1 = 0,7$, $m(0) = 0$ et plus-ou-moins $(1) = 0,7$ on peut calculer que $F(\text{ProduitPlusOuMoinsSucré}, m \text{ProduitSucré}) = \inf_{t \in [0,1]} F \Rightarrow (m(t), \text{plus-ou-moins}(t)) = 0,7$ si $F \Rightarrow$ est l'implication de Gödel.

[48] relève de (c). Il étant $\mathcal{ALC}$ grâce à des assertions floues de la forme $(a : C \geq n)$ qui se lit « a est une instance du concept C avec un degré de vérité supérieur ou égal à n ». Une interprétation I satisfait cette assertion si $\mu_C^I(a) \geq n$. De façon similaire, les assertions floues $(a : C \leq n)$, $((a, b) : R \geq n)$ et $((a, b) : R \leq n)$ sont définis.

7. Conclusion

Les ontologies floues sont destinées à représenter aussi bien des notions précises que des notions floues. Elles représentent un grand intérêt pour divers domaines, et en particulier pour le domaine du web sémantique. Avec les Logiques de descriptions floues ont été proposées en tant que langues de représentation et de raisonnement sur les connaissances imprécises et incertaines. Dans le chapitre suivant nous allons concevoir l'ontologie floue.

CHAPITRE 5

CONCEPTION ET RÉALISATION

Introduction

Parmi les objectifs d'ontologie est d'aider à concevoir le monde réel avec toutes les restrictions sémantiques, mais il existe des concepts flous qui ne peuvent pas être concevoir en utilisant les ontologies classiques. L'ontologie floue peut résoudre le problème de la représentation des concepts flous que l'on trouve dans de nombreux domaines.

Dans ce chapitre, nous aborderons le problème présenté dans cette mémoire, Pour ce faire, nous allons créer une l'ontologie floue en utilisons l'éditeur de protégé et le plugin Fuzzy OWL2 pour ajouter la partie floue de l'ontologie, en fin, nous enverrons des requêtes pour tester notre ontologie et nous programmons un programme qui gère cette ontologie.

1 Choix de la méthode de construction de notre ontologie

Nous avons vu deux types de méthodes de construction de l'ontologie dans le premier chapitre. Pour construire notre ontologie, il faut choisir la méthode de construction. Dans ce travail, nous avons choisi la méthode " METHONTOLOGY " pour construire notre ontologie car il s'agit de l'une des méthodes les plus célèbres utilisées dans la construction d'ontologies.

C'est l'étape la plus importante dans le processus de construction de l'ontologie. Elle est inspirée de la méthodologie "METHONTOLOGY" qui consiste à identifier et à structurer, à partir des sources d'informations, les connaissances du domaine. Elles permettent d'aboutir à un ensemble de représentations intermédiaires semi-formelles indépendamment des langages de formalisations à utiliser pour représenter l'ontologie "METHONTOLOGY" [57].

2 Étapes du processus de construction de notre ontologie

La construction de notre ontologie se déroule en cinq étapes et se présente comme suit:

- Évaluation des besoins (Spécification des besoins)
- Conceptualisation
- Formalisation
- Implémentation
- Vérification.

2.1 Évaluation des besoins

Le domaine de diagnostic médical fait partie des domaines qui nécessitent une attention particulière car il est un domaine sensible demande de la précision, mais ce domaine comprend des concepts et des relations floues difficile à gérer.

Dans ce travail, nous définissons et créons une ontologie floue qui permet de représenter et manipuler les connaissances et les données relatives au diagnostic la maladie pneumonie et la grippe, tout en prenant en considération les aspects flous (imprécisions et incertitudes).

La grippe, ou influenza, est une maladie due à des virus influenzae de la famille des Orthomyxoviridae, virus à ARN. Maladie contagieuse, à grippe touche tout d'abord le système respiratoire et peut se compliquer ou présenter des formes graves [59].

La pneumonie est une infection des poumons causée le plus souvent par un virus ou une bactérie. L'infection touche plus précisément les alvéoles pulmonaires, ces minuscules sacs en forme de ballons situés à l'extrémité des bronchioles. Elle touche généralement un seul des 5 lobes du poumon (3 lobes dans le poumon droit et 2 dans le gauche), d'où le terme pneumonie lobaire. Lorsque la pneumonie atteint aussi les bronches, on l'appelle bronchopneumonie [58].

La raison pour laquelle nous avons choisi ces deux types de maladies est de contenir des concepts flous dans leurs symptômes, tels que la fièvre est une augmentation de la température corporelle il peut être élevé ou très élevé il y a dans ce cas une sorte d'ambiguïté en raison du chevauchement de ces concepts, il est difficile de déterminer le degré de ces concepts. L'ontologie floue basée sur la logique floue résoudre de tels problèmes, par exemple, Le concept patient est identifié comme une classe floue selon la variable linguistique “ la température du corps”. Il est important de savoir le degré de température du corps du malade pour un diagnostic et une prise en charge plus fiable. La classe patient est fuzzifiée en trois classes floues qui sont : fièvre avec une fonction d'appartenance monotone croissante qui a comme paramètres $a = 37$ et $b = 40$, température normale avec une fonction d'appartenance trapézoïdale qui a comme paramètres $a = 35$, $b = 36$, $c = 37$ et $d = 40$, hypothermie avec une fonction d'appartenance monotone décroissante qui a comme paramètres $a = 35$ et $b = 36$.

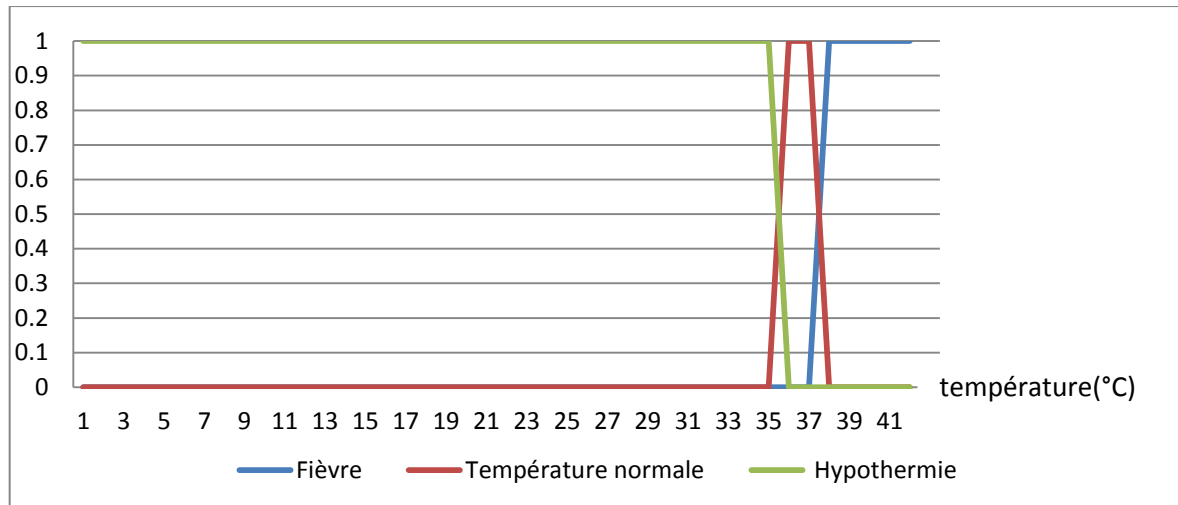


Figure 5. 1 : Les fonctions d'appartenances des classes floues du concept Patient.

Par exemple, Le patient dont la température est de 36 °C, on dit que la température de son corps est basse (Hypothermie) avec un degré d'appartenance égal à 0,5. On dit qu'aussi sa température corporelle est modérée (Température normale) avec un degré d'appartenance égal à 0,5. Mais dans ce cas la température de son corps n'est pas élevée (Fièvre).

Pour rendre notre ontologie facile à utiliser, nous devons programmer un système qui gère cette ontologie. Les Diagrammes UML suivant décrivent les principaux éléments de notre système.

2.1.1 Diagramme de cas d'utilisation

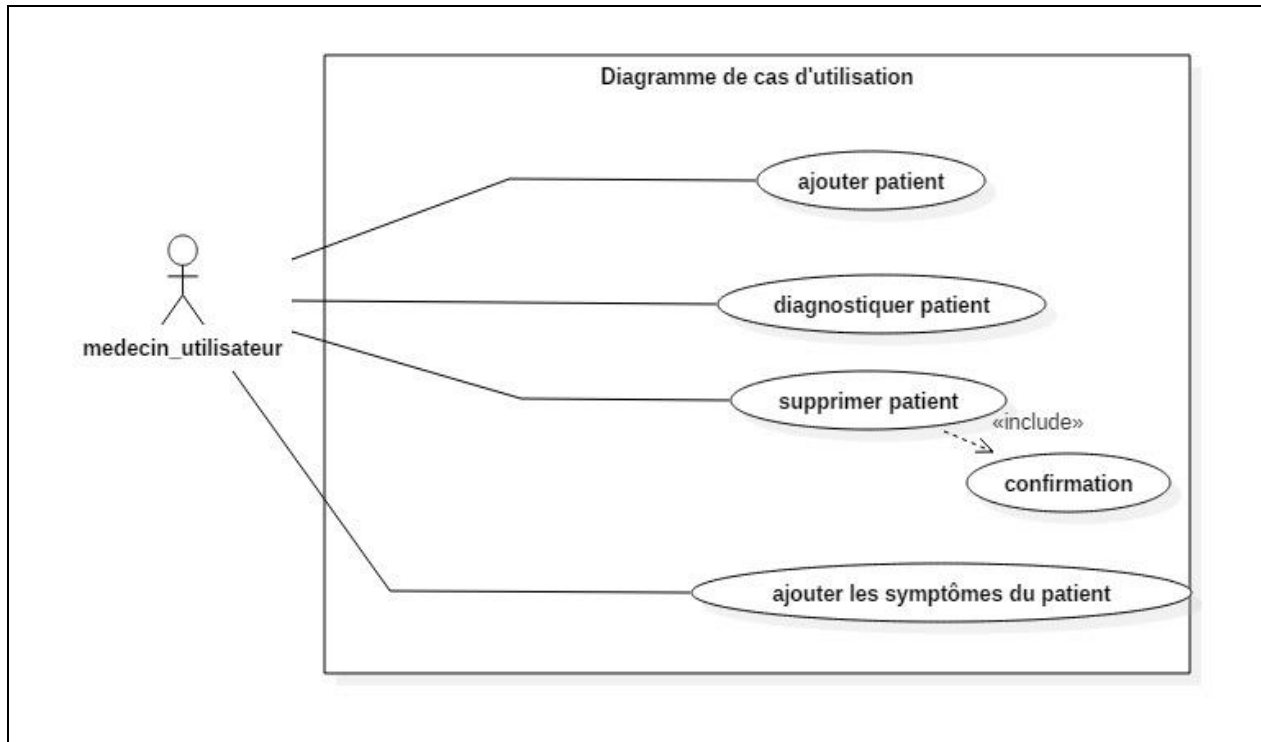


Figure 5. 2 : Diagramme de cas d'utilisation.

2.1.2 Diagramme de séquence ajouter une patient

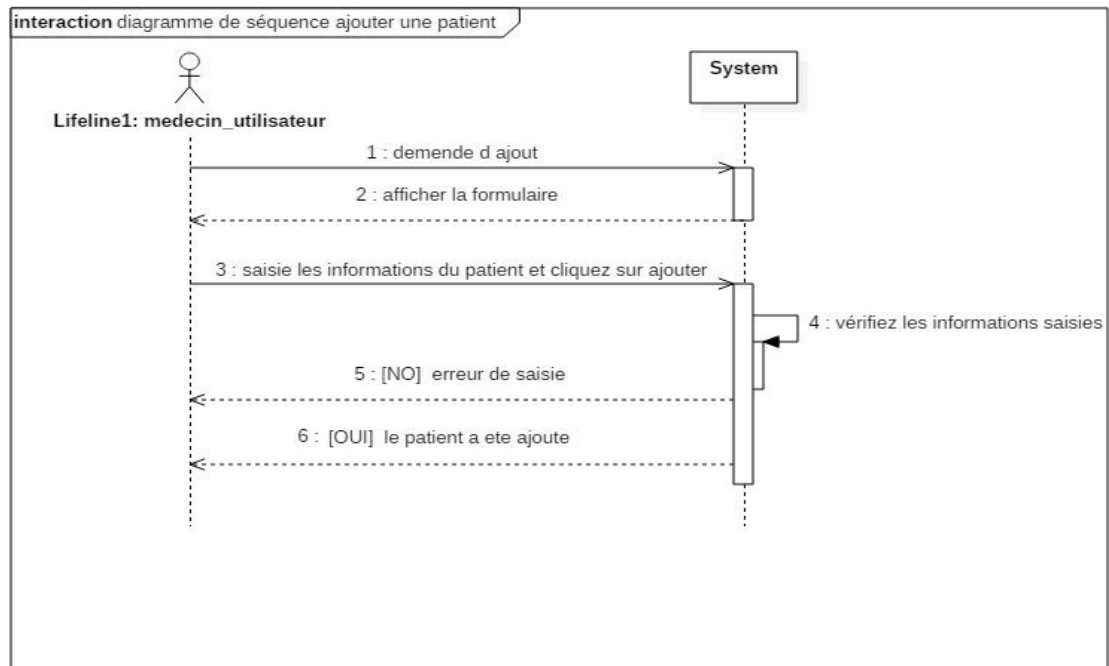


Figure 5. 3 : Ajouter une patient.

2.1.3 Diagramme de classe

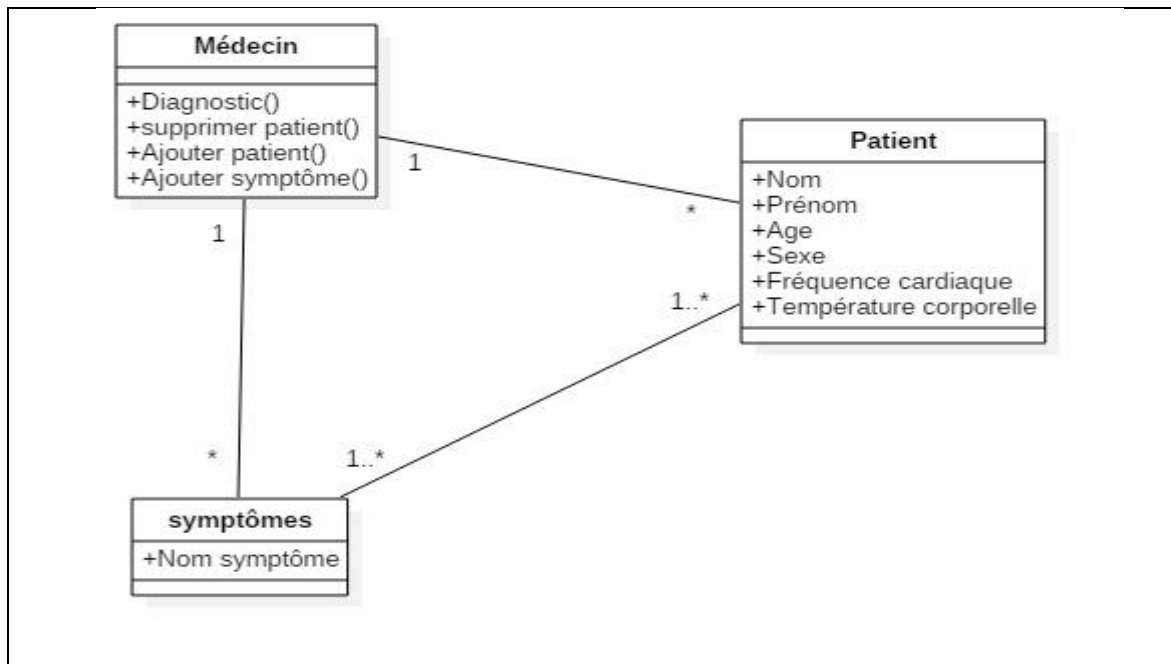


Figure 5. 4 : Diagramme de classe.

2.2 Conceptualisation

L'étape de conceptualisation est l'une des étapes les plus importantes car elle donne une description précise de l'ontologie. Le but de cette étape est d'organiser et de structurer les connaissances acquises durant l'activité d'acquisition des connaissances. Pour cela on distingue les activités principales suivantes:

- ✓ Construction du glossaire des termes
- ✓ Construction de la taxonomie de concepts
- ✓ Construction du dictionnaire des concepts précis
- ✓ Construction du tableau des relations binaires
- ✓ Construction du tableau des attributs d'instances
- ✓ Construction du tableau des attributs des classes
- ✓ Table des instances des concepts précis
- ✓ Table des assertions floues
- ✓ Construction de la partie floue

2.2.1 Construction du glossaire des termes

Le glossaire est une collection et une description de tous les termes pouvant être utilisés dans le domaine à étudier ou à traiter. Le tableau ci-dessous comprend un ensemble de termes liés au domaine du diagnostic médical avec leurs descriptions organisées sous forme de glossaire.

Terme	Description	Type
Aide à médicale	Est les soins et l'assistance fournis par le médecin au patient pour son traitement.	Classe
Diagnostic	Est le processus d'identification d'une maladie ou d'un état qui explique les symptômes et les signes d'une personne.	Sous Classe
Traitement	Le traitement médical est une tentative de contrôler et d'éliminer la maladie du patient.	Sous Classe
Complications	Est un développement indésirable d'une maladie peut devenir plus répandu dans le corps ou parfois augmenter ses effets et peut entraîner une autre maladie en raison de la maladie précédente.	Classe
Facteurs à risque	Les facteurs sont les causes qui provoquent une maladie.	Classe
Maladie	La maladie est une altération des fonctions ou de la santé d'un organisme vivant, animal ou végétal	Classe
Patient	Le patient est toute personne qui reçoit des soins médicaux ou un traitement médical.	Classe
Personnes à risque	Les personnes les plus vulnérables à la maladie	Classe
Symptômes	Un symptôme est un signe, un trouble observable par un patient, qui est la manifestation d'une maladie et de son évolution.	Classe
Personne	Une personne est un être social pourvu de sensibilité, avec une intelligence et une volonté proprement humaines.	Classe
.....		

Tableau 5. 1 : Glossaire de termes.

2.2.2 Construction de la taxonomie de concepts

La taxonomie est une méthode hiérarchique de construction de concepts d'ontologie, des concepts clés aux concepts secondaires, etc. Par exemple, le concept de patient est une sous-classe de la classe de la personne, parce que chaque patient est une personne.

Pour organiser les concepts sous forme d’une taxonomie. La figure 5.5 montre la hiérarchie des concepts.

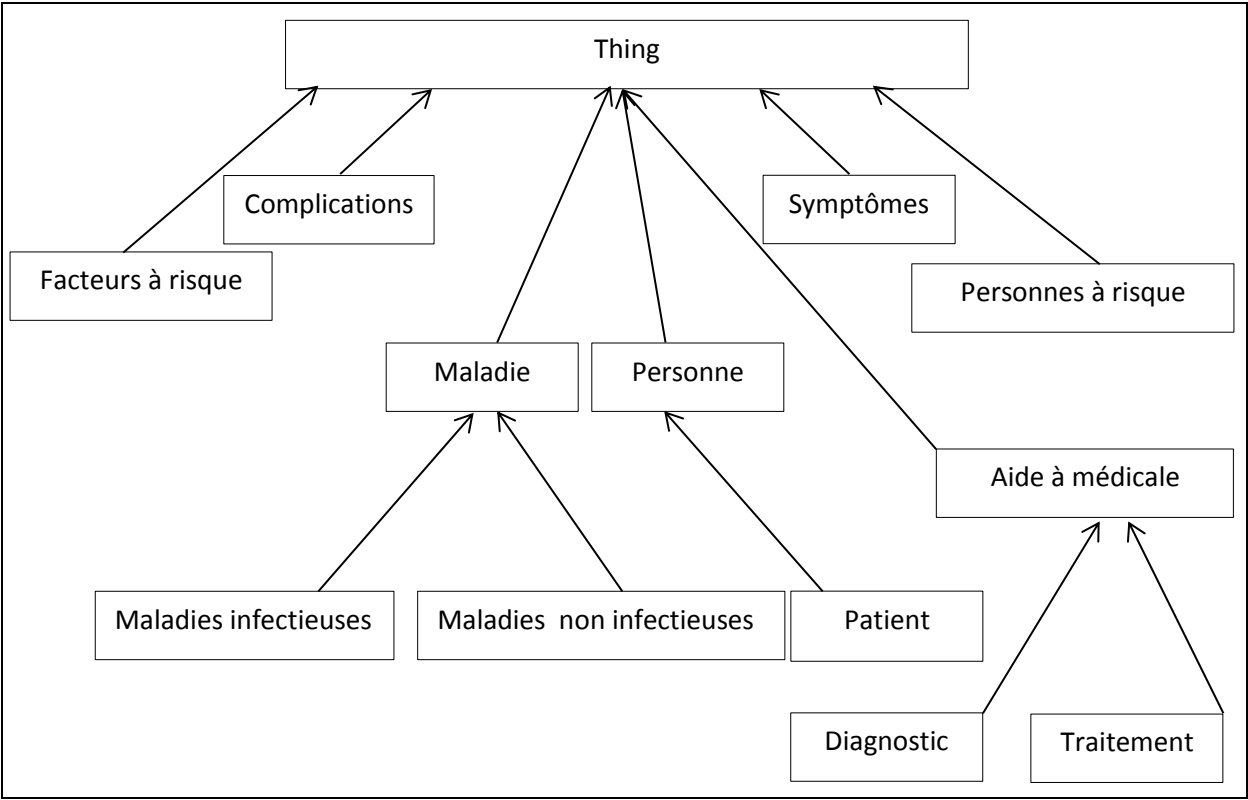


Figure 5. 5 : Hiérarchie de concepts.

2.2.3 Construction du dictionnaire des concepts précis

Un dictionnaire de concepts précis contient tous les concepts non flous liés au domaine d’étude avec leurs attributs et leurs Instances.

Le tableau suivant montre le dictionnaire de concepts précis.

Concept	Attributs	Instances
Patient	-Nom -Prénoms -Age -Sexe	Ahmed
Maladie	-	-
Symptômes	-	-
.....		

Tableau 5. 2 : Dictionnaire des concepts précis.

2.2.4 Construction du tableau des relations binaires (Précises)

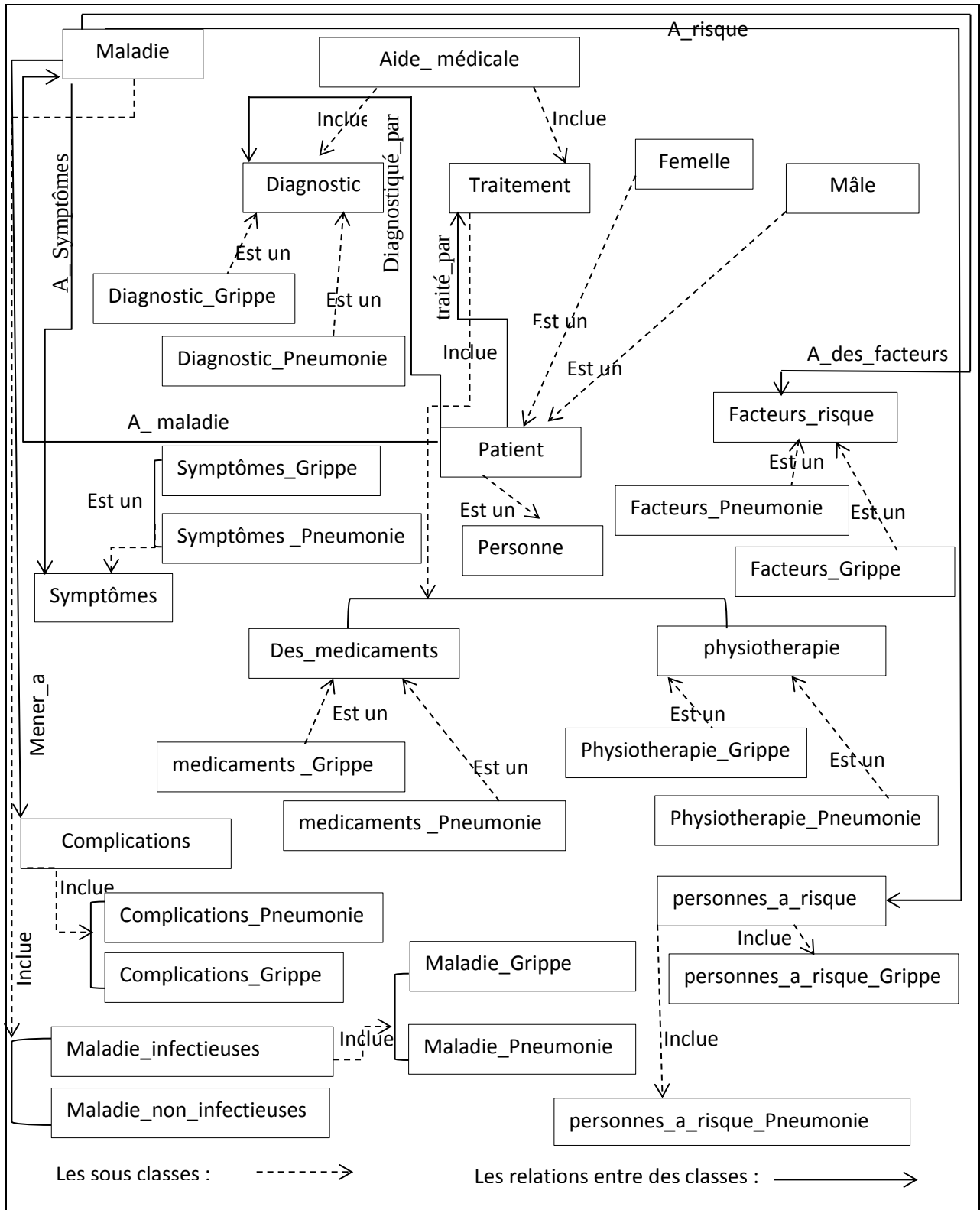


Figure 5. 6 : Diagramme de relations binaires.

2.2.5 Construction du tableau des attributs d'instances

Instance	Concept	Attributs	Type
Patient1	Patient	-Nom -Prénom -Age -Sexe	String String Double String
Patient2	Patient	-Nom -Prénom -Age -Sexe	String String Double String
Tachycardie	Symptômes de pneumonie	-Fréquence cardiaque	Double
Fièvre	-Symptômes de grippe -Symptômes de pneumonie	-Température corporelle	Double
.....			

Tableau 5. 3 : Tableau des attributs d'instances.

2.2.6 Construction du tableau des attributs des classes

Attribute	Concept	Type	Cardinalité (min/max)	Domaine des valeurs
Nom	Patient	String	(1,1)	-
Prénom	Patient	String	(1,1)	-
Age	Patient	Double	(1,1)	(Masculin, Féminin)
Sexe	Patient	String	(1,1)	-
Température corporelle	Patient	Double	(1,1)	-
Fréquence cardiaque	Patient	Double	(1,1)	-
.....				

Tableau 5. 4 : Tableau des attributs de classe.

2.2.7 Table des instances des concepts précis

Concept	Nom de l'instance	Attributs	Valeurs
Patient	Patient1	-Nom -Prénom -Age -Sexe	Ali Khalil 30 Masculin
.....			

Tableau 5. 5 : Instances des concepts précis.

2.2.8 Table des assertions floues

Relation	Instance source	Instance cible	Degré d'appartenance
A_symptômes (Fièvre)	Ali	40 °C	1
A_symptômes (tachycardie)	Mohmed	200 beats/min	1
.....			

Tableau 5. 6 : Table des assertions floues.

2.2.9 Construction de la partie floue

Afin de rendre notre ontologie floue, nous devons ajouter la partie floue, pour ce faire, nous créons les types de données floues, en plus d'ajouter les annotations explicatifs pour définir les concepts flous.

Le tableau suivant représente les types de données floues avec leurs descriptions et leurs annotations.

Types de donnée	Description de type de donnée	Annotations
fièvre	La fièvre est une température corporelle anormalement élevée.	<pre><fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype"> <Datatype type="rightshoulder" a="37.5" b="40" /> </fuzzyOwl2></pre>
hypothermie	L'hypothermie est la température du corps descend au-dessous de 35° C.	<pre><fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype"> <Datatype type="leftshoulder" a="35.0" b="36.5" /> </fuzzyOwl2></pre>
RythmeElevé	Est augmentation du rythme cardiaque, c'est-à-dire que le nombre de battements cardiaques par minute dépasse le nombre normal.	<pre><fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype"> <Datatype type="rightshoulder" a="100" b="200" /> </fuzzyOwl2></pre>

RythmeFaible	Est une diminution du rythme cardiaque, c'est-à-dire que le nombre de battements cardiaques par minute est anormal.	<fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype"> <Datatype type="leftshoulder" a="50" b="60" /> </fuzzyOwl2>
RythmeModérée	Indique le nombre de rythmes cardiaques à son niveau normal.	<fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype"> <Datatype type="trapezoidal" a="50.0" b="60.0" c="100.0" d="200.0" /> </fuzzyOwl2>
Température _Normale	Signifie la température du corps à son niveau normal.	<fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype"> <Datatype type="trapezoidal" a="36.5" b="36.5" c="37.5" d="40.0" /> </fuzzyOwl2>
.....		

Tableau 5. 7 : Les types de données floues.

2.3 Formalisation

La formalisation cela facilite la représentation de l'ontologie dans une langue officielle et opérationnelle.

2.3.1 Représentation de la partie terminologique (T-Box)

Est représenté dans définitions de concepts et de rôles (Précis et flous) et des inclusions de concepts, en utilisant la syntaxe de la logique de descriptions SHIQ mentionnés dans le chapitre précédent.

2.3.1.1 Définition des concepts

Nom de concept	La logique de descriptions
Patient	$(\forall \text{Est un. Personne}) \sqcap (\exists A_causes. \text{Facteurs})$ $(\exists \text{Diagnostic}_\text{par. Diagnostic}) \sqcap (\exists \text{Trait}_\text{par. Traitement}).$
Aide_ médicale	$(\forall \text{Inclue. Diagnostic}) \sqcap (\forall \text{Inclue. Traitement}).$
Maladie	$(\exists A_risque. \text{Personnes_a_risque}) \sqcap (\exists \text{Mener_a. Complication}) \sqcap$ $(\exists A_symptômes. \text{Symptômes}).$

Symptômes	Symptômes_Grippe $\sqcup$ Symptômes _Pneumonie.....
Traitement	($\forall$ Inclue.Des_medicaments) $\sqcap$ ($\forall$ Inclue.physiotherapie).
Diagnostic	Aide_médicale $\sqcup$ Diagnostic_Grippe $\sqcup$ Diagnostic_Pneumonie.....
.....	

Tableau 5. 8 : Définition des concepts précis.

2.3.1.2 Définition des relations

Traité_par (Patient , Traitement)
Diagnostiqué_par (Patient , Diagnostic)
A_causes(Patient , Facteurs)
A_ Symptômes (Maladie , Symptômes)
Mener_a(Maladie , complication)
A_risque (Maladie , personnes_a_risque)
.....

Figure 5. 7 : Définition des relations.

2.3.1.3 Inclusion des concepts

Aide de médicale $\subseteq T$	Physiothérapie $\subseteq$ Traitement
Facteurs $\subseteq T$	Facteurs_Pneumonie $\subseteq$ Facteurs
Maladie $\subseteq T$	Facteurs_Grippe $\subseteq$ Facteurs
Personne $\subseteq T$	Maladie_Pneumonie $\subseteq$ Maladie
Symptômes $\subseteq T$	Maladie_Grippe $\subseteq$ Maladie
Diagnostic $\subseteq$ Aide de médicale	Patient $\subseteq$ Personne
Traitement $\subseteq$ Aide de médicale	male $\subseteq$ Patient
Diagnostic_Pneumonie $\subseteq$ Diagnostic	femelle $\subseteq$ Patient
Diagnostic_Grippe $\subseteq$ Diagnostic	Symptômes_Grippe $\subseteq$ Symptômes
Des_médicaments $\subseteq$ Traitement	Symptômes_Pneumonie $\subseteq$ Symptômes

Tableau 5. 9 : Inclusion des concepts.

2.3.2 Représentation de la partie assertionnelle (A-Box)

A-Box est un ensemble d'axiomes décrivant des situations concrètes.

Ali : Patient	diagnostiqué _par (Ahmed , Mohamed Makhoulfi)
38.0 °C : Fièvre	traité _par (Ahmed , Mohamed Ali)
100 beats/min : Fréquence cardiaque	
Mâle : Le sexe	
Diagnosis : Mohamed Makhoulf	
Traitement : Mohamed Ali	
.....	

Tableau 5. 10 : La partie assertionnelle (A-Box).

2.4 Implémentation

L'implémentation de l'ontologie floue est la même que l'implémentation de l'ontologie classique la différence est d'ajouter la partie floue seulement, donc pour l'implémenter de notre ontologie nous avons utilisé l'éditeur protégé version 4.3, Fuzzy OWL 2 plug-in et le langage de codification OWL (un langage de définition d'ontologie pour le Web).

2.4.1 Outils de programmation

2.4.1.1 Protégé

Protégé est un éditeur d'ontologies open-source qui supporte le langage OWL (Web Ontology Language). Il est disponible en téléchargement gratuit sur le site protégé.

L'installation de protégé 4.3 est très simple il suffit de double-cliquer sur le programme téléchargé à partir du site. Ensuite, choisissez l'emplacement d'installation et le type de JVM (Java Virtual machine) puis suivez les autres étapes.

La figure suivante montre l'interface principale de l'éditeur protégé 4.3 après l'installation.

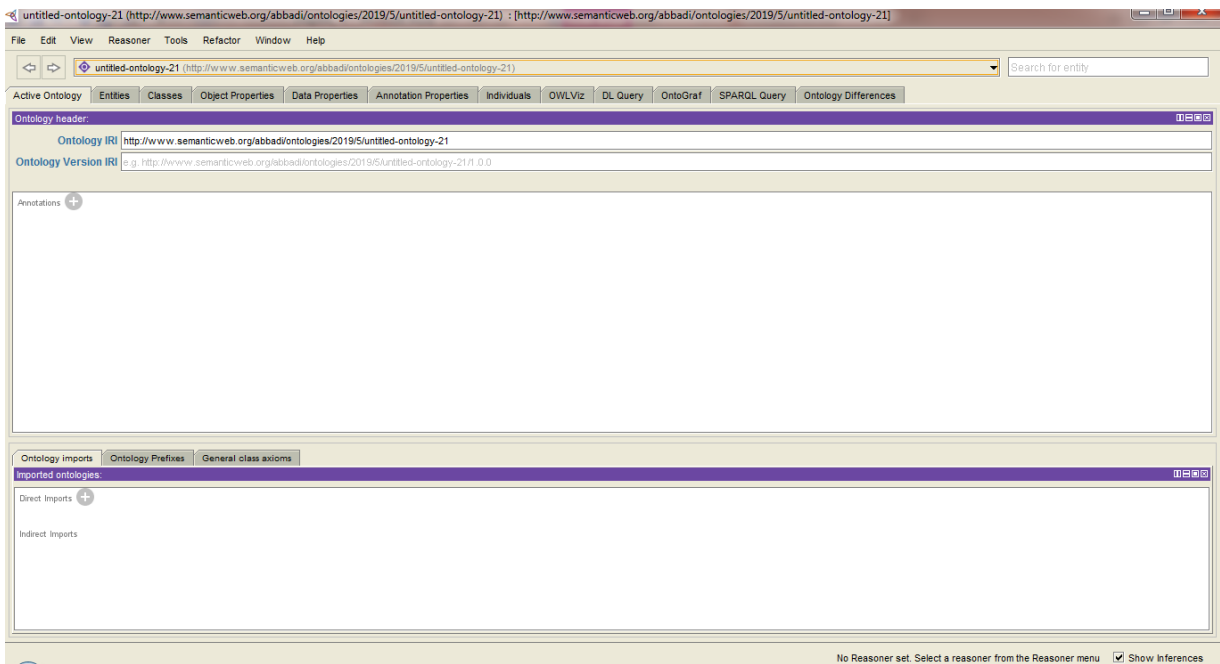


Figure 5. 8 : Interface graphique de Protégé 4.3.

2.4.1.1.1 Définition des concepts

La figure 5.9 représente hiérarchie des concepts utilisés dans notre ontologie.

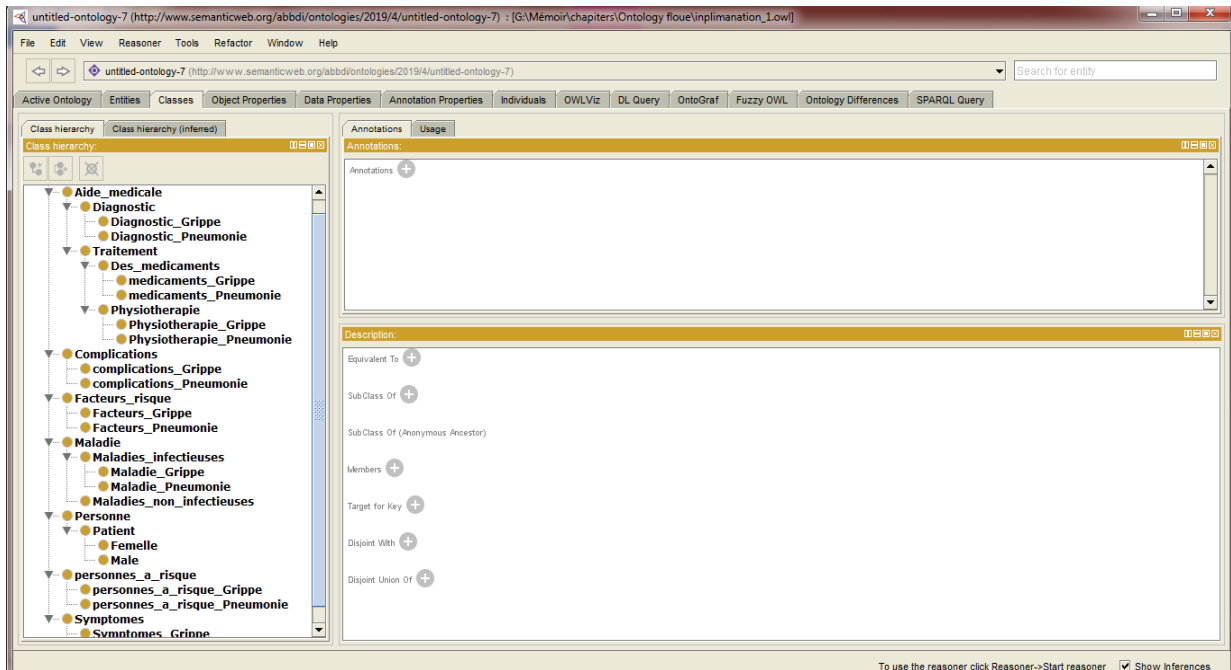


Figure 5. 9 : Hiérarchie de classes.

2.4.1.1.2 Définition des relations entre les concepts

La figure 5.10 représente les relations (propriétés de l'objet) entre les concepts.

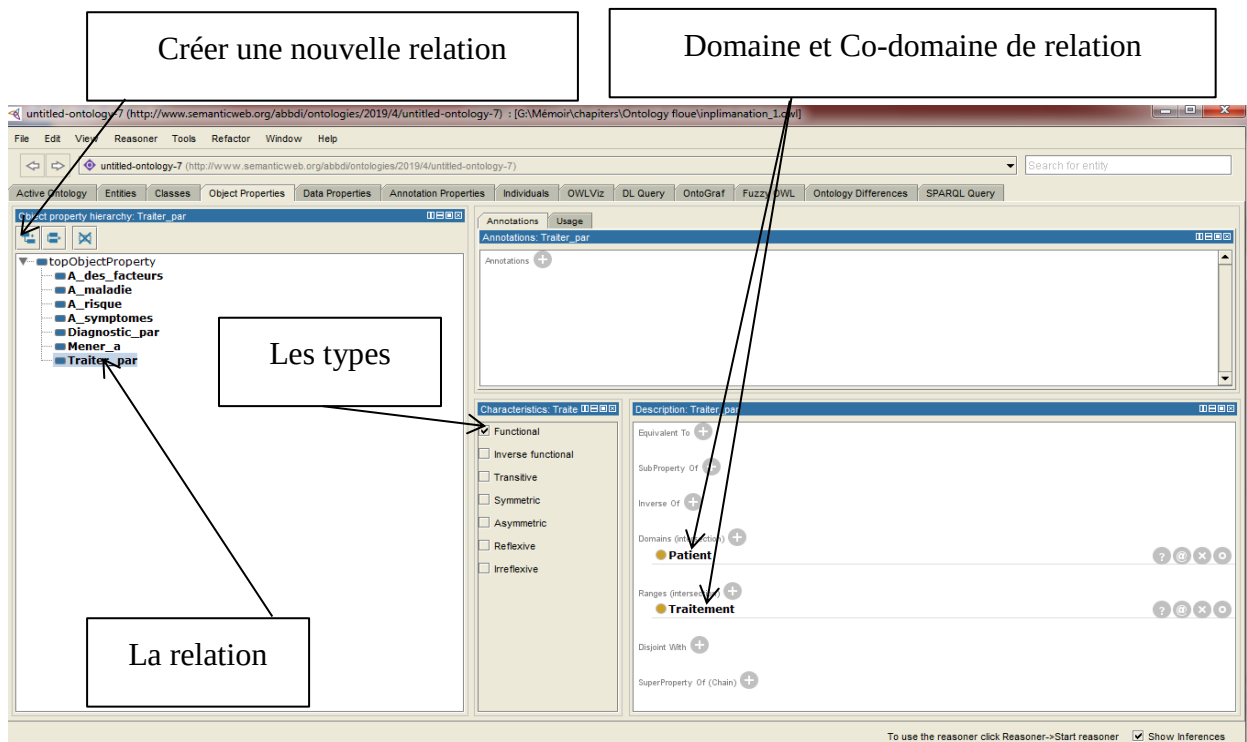


Figure 5. 10 : Relations entre concepts.

2.4.1.1.3 Instanciation des concepts

La figure 5.11 illustre un groupe d'instances (individus) pour différents concepts

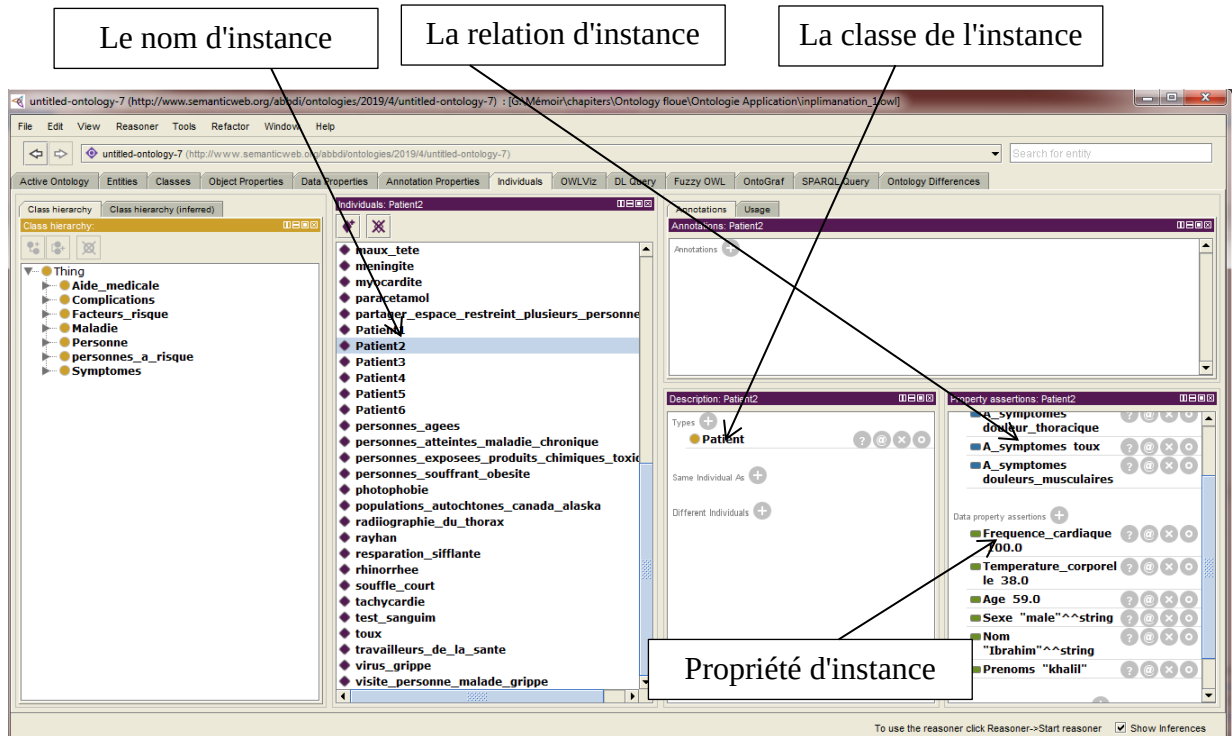


Figure 5. 11 : Les instances de concepts.

2.4.1.2 Gurobi optimisation

Gurobi optimisation est une bibliothèque de programmation mathématique. Gurobi est disponible en téléchargement gratuit sur le site gurobi avec sa licence.

Pour installer uniquement, double-cliquez sur le programme d'installation Gurobi que nous avons téléchargé sur le site ou nous pouvons également installer Gurobi à l'aide de l'interface de ligne de commande de Windows Installer. Nous ouvrons l'invite de commande cmd, utilisez cd pour accéder au répertoire contenant l'image du programme d'installation Gurobi, puis nous entrons la commande suivante : msiexec /i Gurobi-4.6.1-win32.msi /norestart.

La figure suivante représente gurobi 4.6.1 après activation.

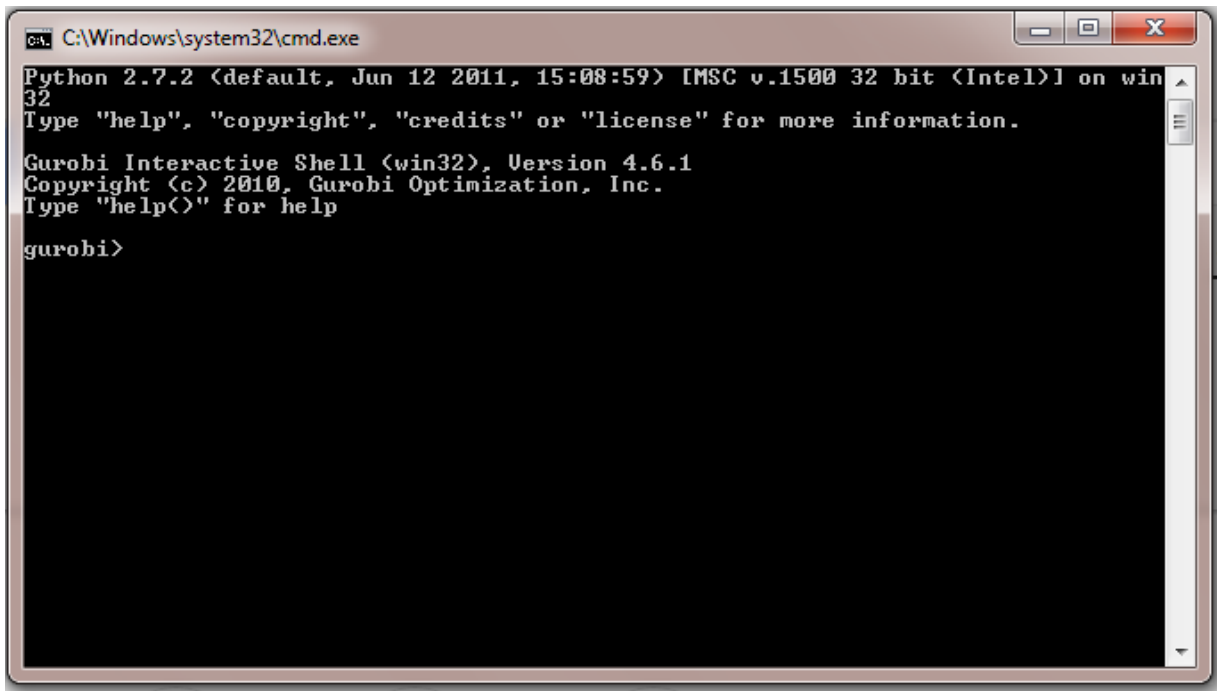


Figure 5. 12 : Gurobi 4.6.1 après l'activation.

2.4.1.3 Plugin Fuzzy OWL 2

Fuzzy OWL 2 est un plugin pour l'éditeur Protégé qui permet aux utilisateurs de modifier, enregistrer les ontologies Fuzzy OWL 2 et soumettre des requêtes au moteur d'inférence Fuzzy DL. Il est élaboré par Fernando Bobillo et Umberto Straccia en 2011.

L'installation de plugin Fuzzy OWL 2 est très simple, seulement nous ne copions que le fichier "FuzzyOWL.jar" dans le fichier "plugins" de protégé et nous copions le fichier "dlib" dans le fichier protégé.

Après avoir exécuté le protégé, nous remarquons un nouvel onglet « fuzzy OWL » ce qui indique que le plugin Fuzzy OWL 2 est installé.

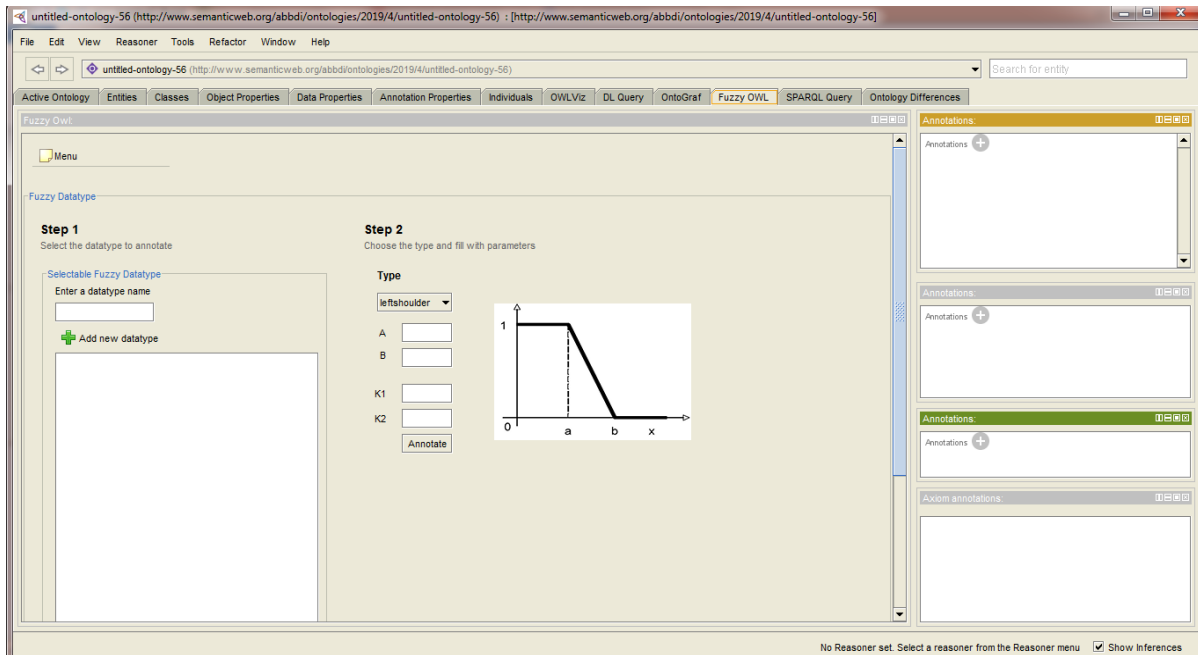


Figure 5. 13 : L’onglet de Fuzzy OWL 2 plugin.

Le plugin Fuzzy OWL 2 contient un menu de choix dont nous avons besoin pour inclure la partie floue de l'ontologie.

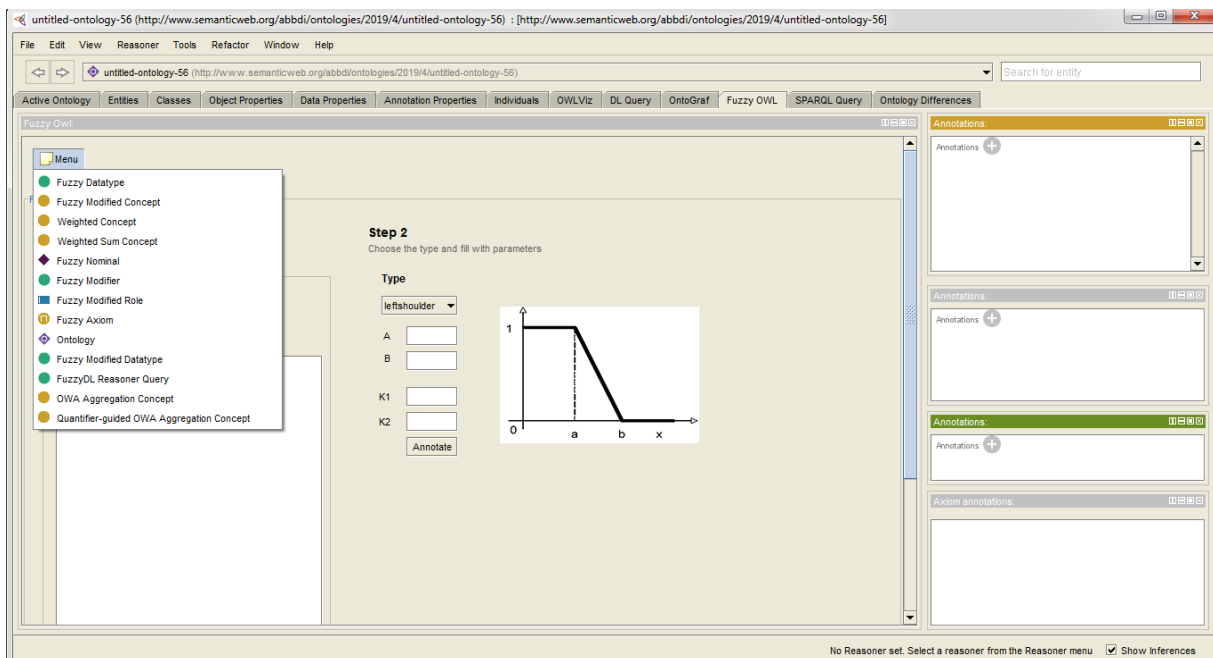


Figure 5. 14 : Menu des options de plugin Fuzzy OWL 2.

2.4.1.3.1 Description des options du menu de plugin OWL 2

Ce menu comprend les différents choix dont nous avons besoin pour construire l'ontologie floue. Le tableau suivant explique ces options avec leurs annotations et donne un exemple de chaque option.

Option	Description	Exemple	Annotation
Fuzzy datatype	Aussi appelé domaines concrets flous, cette option est incluse ensemble des fonctions d'appartenance ce que nous utilisons pour déterminer le degré d'appartenance des concepts floue.	Nous pouvons définir le type de données flou de JeuneAge: [0, 200] → [0, 1], indiquant le degré de jeunesse d'une personne, JeuneAge (x) = gauche (0, 200, 10, 30).	<code><fuzzyOwl2 fuzzyType =" datatype"> <Datatype type =" leftshoulder" a="10" b="30" /> </fuzzyOwl2 ></code>
Fuzzy modifiers	Modificateurs flous son but est de l'appliquer aux ensembles flous à changer leur fonction d'appartenance	le modificateur flou Très = linéaire (0.8).	<code><fuzzyOwl2 fuzzyType =" modifier"> <Modifieur type =" linear" c="0.8" /> </fuzzyOwl2 ></code>
Fuzzy modified datatypes	Est-ce une fusion de type de données flou avec modificateurs flous Pour obtenir le nouveau de type de données flou.	Nous avons le modificateur flou « Très » et type de données flou « JeuneAge » Alors le type de données modifiées flous est « TrèsJeuneAge » On dit que la personne est très jeune.	<code><fuzzyOwl2 fuzzyType =" datatype"> <Datatype type =" modified" modifier =" Très " base =" JeuneAge " /> </fuzzyOwl2 ></code>
Weighted concepts	Annotation les concepts basés sur des concepts pondérés. Avec le degré de pondérés entre [0,1].	Représentons du concept (0.8 C). Nous créons le concept atomique Poids 0.8C.	<code><fuzzyOwl2 fuzzyType =" concept"> <Concept type =" weighted" value ="0.8" base ="C" /> </fuzzyOwl2 ></code>
Weighted sum concepts	Annotation les concepts basés sur la somme des concepts pondérés.	On a deux concepts A et B avec leurs degrés respectifs 0.8,	<code><fuzzyOwl2 fuzzyType =" concept"></code>

	Avec le nombre de concepts pondérés ≥ 2 et $\sum_{i=1}^n \text{degré} \leq 1$	0.2. Somme = A+B.	<Concept type = "weightedSum "> <Concept type = "weighted" value = "0.8" base = "A" /> <Concept type = "weighted" value = "0.2" base = "B" /> </Concept > </fuzzyOwl2 >
Fuzzy modified roles	Est l'annotation de la propriété d'objet ou de la propriété de données à travers fusion de modificateur flou avec rôle flou.	On a le modificateur flou « Très » et rôle flou « R » nous créons la propriété d'objet atomique « TrèsR ».	<fuzzyOwl2 fuzzyType = "role"> <Role type = "modified" modifier = "very" base = "R" /> </fuzzyOwl2 >
Fuzzy axioms	Signifie l'ajout du degré de vérité à certains axiomes liés aux relations, aux individus, aux concepts.....ect.	L'affirmation de concept floue paul: <Grand ≥ 0.5 > déclare que Paul est grand avec au moins degré 0,5.	<fuzzyOwl2 fuzzyType = "axiom"> <Degree value = "0.5" /> </fuzzyOwl2 >
Ontology	Nous pouvons également annoter l'ontologie et spécifier la logique floue à prendre en compte dans la sémantique.	Logique floue de zadeh.	<fuzzyOwl2 fuzzyType = "ontology"> <FuzzyLogic logic= "zadeh" /> </fuzzyOwl2 >
.....			

Tableau 5. 11 : Des options du menu de plugin OWL 2.

2.4.1.3.2 Création des types de donnée

La figure 5.15 illustre le fonctionnement du plug-in en montrant comment créer un nouveau type de données flou. Nous spécifions le nom du type de données et le type de la fonction d'appartenance. Ensuite, le plug-in demande les paramètres nécessaires en fonction du type. Une image est affichée pour nous aider à rappeler la signification des paramètres.

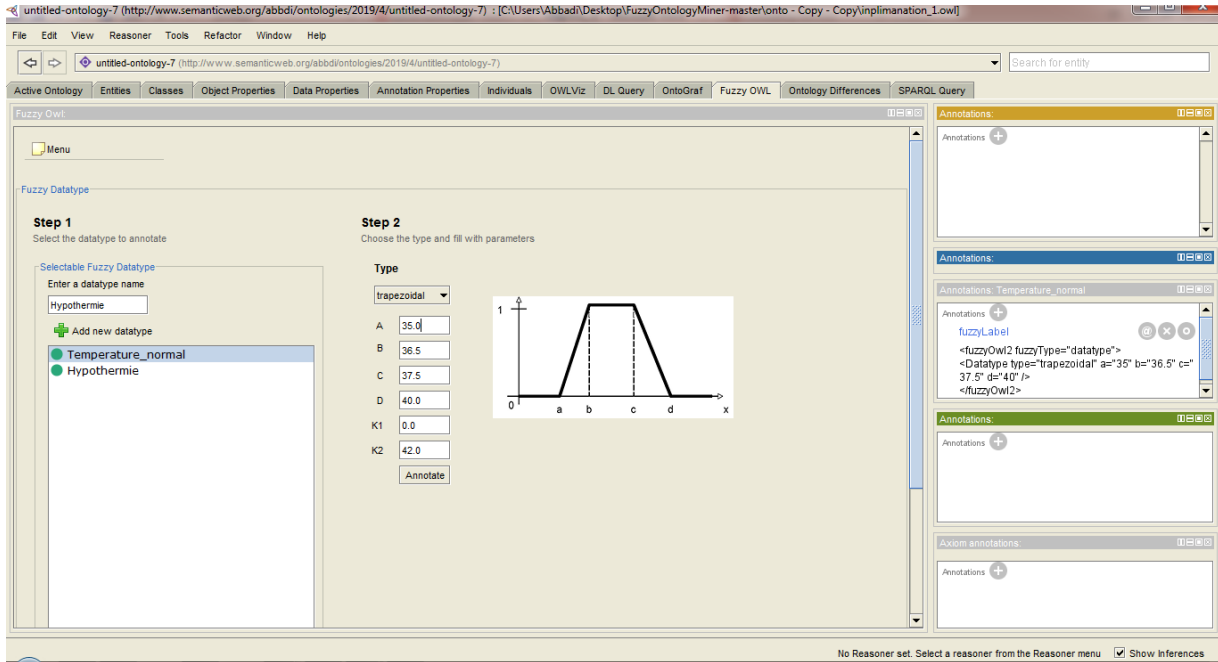


Figure 5. 15 : Création d'un type de données flou avec le plug-in.

2.4.1.3.3 Fuzzy DL raisonneur

Fuzzy DL raisonneur est un raisonneur basé sur Java et traite avec des informations floues, il soutient le raisonnement de logique floue et utilisant le générateur d'analyseur Java et le MILP-solveur. L'algorithme de raisonnement utilise une combinaison d'un algorithme de tableaux et d'un problème d'optimisation MILP.

Le fuzzy DL raisonneur prend en charge un ensemble spécifique de requêtes, comme indiqué dans la figure suivante.

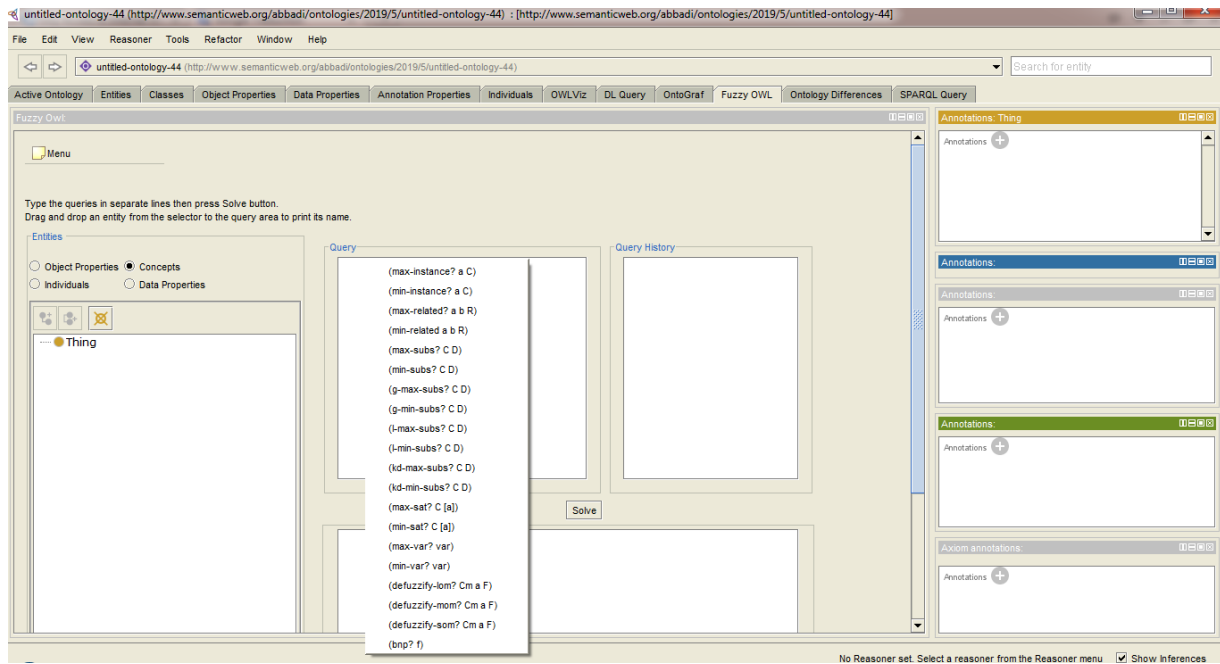


Figure 5. 16 : Des requêtes de fuzzy DL raisonneur.

2.4.1.4 NetBeans

NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI) open source pour le développement avec Java, PHP, C et d'autres langages de programmation. Le programme est produit par Sun Microsystems.

2.4.2 Langages web sémantique

2.4.2.1 OWL

Pour l'implémentation de notre ontologie nous avons utilisé Le langage de l'ontologie OWL par l'éditeur protégé 3.4.

Le langage OWL est un langage Web sémantique conçu pour représenter des connaissances riches et complexes sur des choses, des groupes de choses et des relations entre des choses. Il est un langage de calcul basé sur la logique tel que les connaissances exprimées dans OWL peuvent être exploitées par des programmes informatiques. Le langage OWL comprend deux versions, OWL1 et OWL2.

Le langage OWL 2 est un langage d'ontologie pour le Web sémantique au sens défini formellement. OWL 2 est développé par le groupe de travail W3C OWL en 2009. OWL1 est le point de départ du développement d'OWL2 ou en d'autres termes OWL2 est le développement

d'OWL1. Les ontologies OWL 2 fournissent des classes, des propriétés, des individus et des valeurs de données et sont stockées sous forme de documents Web sémantique.

La figure suivante montre une partie de l'ontologie codée en langage OWL.

```
<?xml version="1.0"?>
<Ontology xmlns="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xml:base="http://www.semanticweb.org/abbadi/ontologies/2019/5/untitled-ontology-43"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
  ontologyIRI="http://www.semanticweb.org/abbadi/ontologies/2019/5/untitled-ontology-43">
  <Prefix name="rdf" IRI="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" />
  <Prefix name="rdfs" IRI="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" />
  <Prefix name="xsd" IRI="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" />
  <Prefix name="owl" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
  <Declaration>
    <Class IRI="#Diagnosis"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#Medical_Support"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#Patient"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#Symptoms"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#Treatment"/>
  </Declaration>
  <SubClassOf>
    <Class IRI="#Diagnosis"/>
    <Class IRI="#Medical_Support"/>
  </SubClassOf>
  <SubClassOf>
    <Class IRI="#Treatment"/>
    <Class IRI="#Medical_Support"/>
  </SubClassOf>
```

Figure 5. 17 : Exemple code de langage OWL.

2.4.3 Langage de programmation

2.4.3.1 Java

Java est un langage de programmation orientée objet qui produit des logiciels pour plusieurs plates-formes. Eclipse et NetBeans sont les environnements de développement en langage Java les plus populaires.

2.5 Vérification

Dans cette étape, nous vérifions la validité de notre ontologie à travers envoyant des requêtes en utilisant fuzzy DL raisonneur.

2.5.1 Tester l'ontologie à travers des requêtes

À partir du plug-in (Fuzzy OWL 2), nous pouvons interroger le raisonneur fuzzyDL qui permet de soumettre des requêtes, à condition que ces requêtes soient sous la forme de requêtes supportées par fuzzy DL. Ce processus permet la traduction d'OWL 2 avec des annotations représentant des informations floues à la langue prise en charge par un raisonneur.

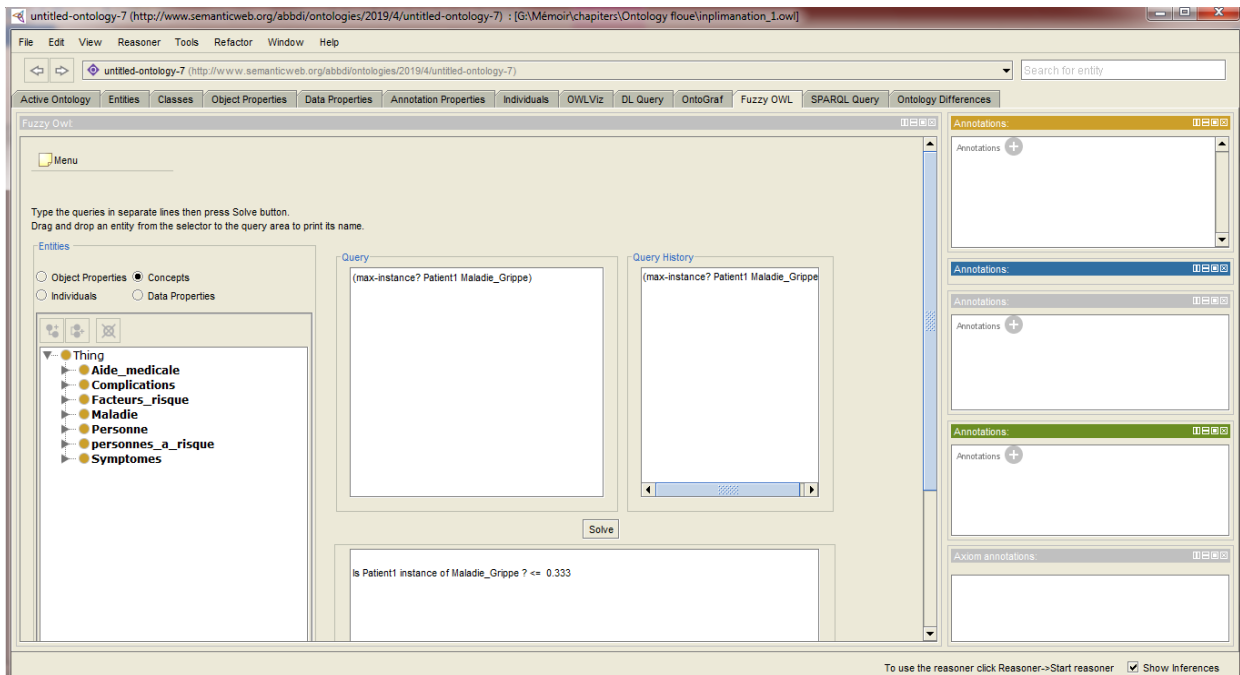


Figure 5. 18 : Test d'ontologie avec fuzzyDL Reasoner Query.

3 L'interface de l'application

La figure suivante illustre une partie de l'interface d'application

The screenshot displays a medical application interface with a red title bar and a light blue background. The interface is organized into several sections:

- Top Left:** A label "Numéro patient :" followed by a text input field containing "Patient1" and a dropdown arrow.
- Top Center:** A box containing three buttons: "Ajouter Patient" (blue), "Supprimer Patient" (orange), and "Ajouter Symptômes" (blue).
- Top Right:** A series of labels and input fields for patient information: "Nom :" (Ahmed), "Prénoms :" (Makhloufi), "Age :" (38.0), "Sexe :" (male), "Fréquence cardiaque :" (115.0), and "Température corporelle :" (38.0).
- Bottom Left:** A label "Symptômes :" followed by a text area containing "1-- tachycardie" and "2-- Fievre".
- Bottom Center:** A text area displaying diagnostic results: "— Maladie_Pneumonie 15.0%" and "— Maladie_Grippe 33.0%".
- Bottom:** Two buttons: "Annuler" (blue) and "Diagnostic" (green).

Figure 5. 19 : Une partie d'application.

4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail les étapes dans lesquelles nous avons créé notre ontologie et expliqué les outils utilisés dans ce travail. Finalement, nous avons confirmé la validité de notre ontologie en envoyant des requêtes en utilisant le raisonneur « FuzzyDL Reasoner Query ».

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans notre travail, nous avons montré comment on peut définir et créer une ontologie floue pour l'aide au diagnostic médical. Pour représenter ces connaissances, nous avons collecté de nombreuses informations relatives à ce domaine, telles que les symptômes, afin de construire une ontologie floue pour aider le médecin à diagnostiquer.

Nous avons choisi la célèbre méthode utilisée par de nombreux développeurs de l'ontologie pour construire leur ontologie, la méthode " METHONTOLOGY" qui convient à la construction de notre ontologie.

Nous avons manipulé des concepts et des relations flous en utilisant une logique floue, C'est en identifiant les points d'incertitude et d'imprécision qui présents dans ces concepts et ces relations de l'ontologie pour générer des concepts et des relations flous permettant de représenter les informations et les données floues pour la maladie.

Nous avons obtenu l'ontologie floue en utilisant le célèbre éditeur protégé. Après avoir confirmé la validité de notre ontologie floue en utilisant le raisonneur fuzzy DL qui appartient au plug-in Fuzzy OWL 2, nous avons programmé un système simple qui gère cette ontologie et facilite son utilisation.

Les ontologies floues ont permis de régler le problème dans l'ontologie classique en permettant le raisonnement représentation des connaissances imprécises et incertaines.

Pour compléter ce projet et dans le souci d'élargir et d'améliorer notre travail, nous proposons l'amélioration de ce système de diagnostic médicale basé sur une ontologie floue par :

- Expérimenter ce système dans situations réelles pour ajuster les paramètres l'incertitude.
- Enrichissement de l'ontologie par d'autres maladies en ajoutant les relations les facteurs d'incertitude appropriés
- Ajouter d'autres fonctionnalités jugées nécessaires dans ce domaine.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] HADJOUI Fatima Zohra, Gestion des Ontologies Médicales (G.O.M), mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, 26 Septembre 2012.
- [2] GHERZOULI Imane, Système d'aide au diagnostic médical à base d'ontologie, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Mohamed Boudiaf de M'sila, 2016/2017.
- [3] Laublet, Philippe, Chantal Reynaud, and Jean Charlet. "Sur quelques aspects du Web sémantique." Assises du GDR I 3 (2002): 59-78.
- [4] Hacine Gherbi Ahcine, Construction d'une ontologie pour le web sémantique, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Ferhat Abbas-Sétif1, 2014.
- [5] Mansouri Kelthom, Laoufi Noura, Alignement d'ontologie, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université de Djilali BOUNAAMA - Khemis Miliana, 24/06/2018.
- [6] Elbyed, Abdeltif. ROMIE, une approche d'alignement d'ontologies à base d'instances. Diss. Evry, Institut national des télécommunications, 2009.
- [7] Chaour Moundir , Kermani Mohamed Hachem, Développement d'une ontologie floue et classification d'instances : Application au domaine des analyses médicales, Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master Recherche en Informatique, 2014.
- [8] Michel Tétrault, Modélisation d'une ontologie et conceptualisation d'une application sémantique dédiée au e-recrutement dans le domaine des technologies de l'information, Mémoire présenté à la Faculté des arts et des sciences de la communication en vue de l'obtention du grade de M.Sc, Université de Montréal, 2011.
- [9] SETTI AHMED Soraya, Construction d'Ontologies Modulaires : Approche Basée sur le Clustering, THESE DE DOCTORAT en informatique UNIVERSITE DJILLALI LIABES de SIDI BEL ABBES, 14/01/2016.
- [10] Ouafek Naouel, Les ontologies spatiales : la génération automatique d'ontologies Spatiales à partir du modèle conceptuel spatio-temporel MADS, thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine, 28/04/2009.
- [11] Bachimont, Bruno. "Engagement sémantique et engagement ontologique: conception et réalisation d'ontologies en ingénierie des connaissances." Ingénierie des connaissances: évolutions récentes et nouveaux défis (2000): 305-323.

- [12] Oucief Affef, Construction d'une Ontologie pour Représenter La Sémantique des Langues Naturelles, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master Académique en Informatique, Université Mohamed Boudiaf de M'sila, 2017 /2018.
- [13] Chapitre I-Les ontologies, <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1062/5/ChapitreI.pdf>, consulté le : 10/03/2019 18 :15.
- [14] Notes par Mr S. Boughrara, Web sémantique-3L /SI, Chapitre III : Langages WS, 2016/2017.
- [15] DJAABOUB Salim, Logique floue et SMA : Aide à la décision floue dans les systèmes multi-agents, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Mentouri de Constantine, 2009.
- [16] Zadeh, Lotfi A. "Fuzzy sets." Information and control 8.3 (1965): 338-353.
- [17] Baghli, Lotfi. Contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques. Diss. Université Henri Poincaré-Nancy I, 1999.
- [18] SINZTNKAYO Antoine, APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE AU CHOIX D'UNE MÉTHODE D'ASSEMBLAGE, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Maîtrise de sciences appliquées, Université de Montréal canada, décembre 2000.
- [19] Théorêt, Claude. Élaboration d'un logiciel d'enseignement et d'application de la logique floue dans un contexte d'automate programmable. Diss. École de technologie supérieure, 2009.
- [20] Djellal Asma, « Prise en compte de la notion de flou pour la représentation d'ontologies multi-points de vue en logique de descriptions », Thèse pour l'obtention du diplôme de magister en informatique, Université de Mentouri Constantine, Algérie 2010.
- [21] Hanène Ghorbel, Fuzzy Protégé for Fuzzy Ontology Models, MIRACL Laboratory, Faculty of economics and management Sfax, Tunisia 2012.
- [22] Straccia, Umberto. "Fuzzy ALC with fuzzy concrete domains." Proceedings of the International Workshop on Description Logics (DL-05). Vol. 147. 2005.
- [23] Guefack, Donfack. Modélisation des signes dans les ontologies biomédicales pour l'aide au diagnostic. Diss. Rennes 1, 2013.
- [24] Rajkumar, S. Vincent. "Multiple myeloma: 2011 update on diagnosis, risk-stratification, and management." American journal of hematology 86.1 (2011): 57-65.
- [25] Catherine AGBOKOU, Apprentissage de la sémiologie médicale en PCEM2 : Evaluation du stage de psychiatrie, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme inter-universitaire de pédagogie médicale, Université Pierre Et Marie Curie, Paris VI, Octobre 2009.

- [26] Duquerroux, Vincent. Etude du raisonnement du clinicien expérimenté et de l'étudiant: apports de la psychologie cognitive. Diss. 2009.
- [27] Sternberg, Robert J. Manuel de psychologie cognitive: du laboratoire à la vie quotidienne. De Boeck, 2007.
- [28] Fournier-Viger, Philippe. Un modèle de représentation des connaissances à trois niveaux de sémantique pour les systèmes tutoriels intelligents. Université de Sherbrooke, 2005.
- [29] Baader, Franz, et al, eds. The description logic handbook: Theory, implementation and applications. Cambridge university press, 2003.
- [30] Baader, Franz, Ian Horrocks, and Ulrike Sattler. "Description logics as ontology languages for the semantic web." Mechanizing mathematical reasoning. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005, 228-248.
- [31] Esposito, Floriana, et al, eds. Foundations of Intelligent Systems: 22nd International Symposium, ISMIS 2015, Lyon, France, October 21-23, 2015, Proceedings. Vol. 9384. Springer, 2015.
- [32] Bobillo, Fernando, and Umberto Straccia. "Representing fuzzy ontologies in OWL 2." International Conference on Fuzzy Systems. IEEE, 2010.
- [33] MOUAFFAK Lazhari, Développement d'une Ontologie Floue, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Mohamed Boudiaf de M'sila, 2012/2013.
- [34] S. Maâlej, H.Ghorbel, A. Bahri, & R. Bouaziz, (2010). Construction des composants ontologiques flous à partir de corpus de données sémantiques floues. In INFORSID (pp. 361-376).
- [35] BOUZIDI, Akkacha, DIAGNOSTIC DU CANCER DU SEIN A LAIDE DU CLASSIFICATION FUZZY-FLR, <http://dSPACE.univtlemcen.dz/bitstream/112/8301/3/CHAPITRE1.pdf>, consulté le : 09/03/2019 17 :10.
- [36] Ketata R, Najar Y. Générateur de Systèmes Experts Flous pour la Maintenance Industrielle. Article de recherche Méthodologie et Heuristiques pour l'Optimisation des Systèmes Industriels, Tunis, MHOSI. 2005.
- [37] Zhao, Xiao Chun. Méthodologie de conception d'un système expert pour la généralisation cartographique. Diss. Marne-la-vallée, ENPC, 1990.
- [38] BOUZIDI Akaacha, CHAPITRE II LES SYSTEMES D'INFERENCE FLOUS, <http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/8301/4/CHAPITRE2.pdf>, Consulté le : 20-03-2019, 13:10.

- [39] Nadjib, Commande floue d'un pendule inversé, http://read.pudn.com/download_s592/source_code/math/2421114/mini-prj_invpnd/Commande_floue.pdf , Consulté le : 20-03-2019,13:30.
- [40] Les ontologies, <https://ineti2011.files.wordpress.com/2012/03/chapitre-ontologie.doc> , Consulté le : 22-05-2019, 8:20.
- [41] Fuzzy Inference Systems, <https://www.ibu.edu.ba/assets/userfiles/it/2012/eee-Fuzzy-5.pdf> , Consulté le : 21-3-2019, 15:20.
- [42] Georges TORRIS, DIAGNOSTIC, <https://www.universalis.fr/encyclopedie/diagnostic/> , Consulté le : 23-04-2019, 22:20.
- [43] Bobillo, Fernando, and Umberto Straccia. "Fuzzy ontologies and fuzzy integrals." 2011 11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. IEEE, 2011.
- [44] Devadoss, Nilavu, and Sivakumar Ramakrishnan. "Knowledge representation using fuzzy ontologies—a review." International Journal of Computer Science and Information Technologies 6.5 (2015): 4304-4308.
- [45] D'Aquin, Mathieu, Jean Lieber, and Amedeo Napoli. "Étude de quelques logiques de descriptions floues et de formalismes apparentés." Rencontres francophones sur la logique floue et ses applications-LFA'04. Cépadués-Editions, 2004.
- [46] Yen, John. "Generalizing Term Subsumption Languages to Fuzzy Logic." IJCAI. Vol. 91. 1991.
- [47] Tresp, Christopher B, and Ralf Molitor. "A description logic for vague knowledge." In Proc. of the 13th European Conf. on Artificial Intelligence (ECAI-98. 1998.
- [48] Straccia, Umberto. "Reasoning within fuzzy description logics." Journal of artificial intelligence research 14 (2002): 147-176.
- [49] Bernard ESPINASSE, Introduction aux Logiques de Description (LD) <https://pageperso.lis-lab.fr/bernard.espinasse/Supports/ONTOWS/LogiquesDescription.pdf> , Consulté le : 28-03-2019, 20:20.
- [50] Yen, John. "Generalizing Term Subsumption Languages to Fuzzy Logic." IJCAI. Vol. 91. 1991.
- [51] Cléret, Mireille, Pierre Le Beux, and Franck Le Duff. "Les systèmes d'aide à la décision médicale." Les Cahiers du numérique 2.2 (2001): 125-154.
- [52] FRÄMLING, Kary. "Les réseaux de neurones comme outils d'aide à la décision floue." Rapport de DEA Spécialité: informatique. Equipe Ingénierie de l'Environnement. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne (1992).

- [53] BENBELKACEM Sofia, Aide à la décision médicale : Planification guidée par Datamining et Raisonnement à Partir de Cas, MEMOIRE présenté Pour obtenir LE DIPLOME DE MAGISTER en Informatique, Faculté des sciences Université d'Oran, 28/06/2012.
- [54] DAOUDI Tarik, Conception et réalisation d'un Système Expert d'aide au diagnostic de pannes d'un Micro-ordinateur, Mémoire de Fin d'Etude En vue de l'obtention d'un Master 2 Option Professionnel en Administration et sécurité des réseaux, Université Abderrahmane Mira-Bejaïa, 2012-2013.
- [55] MAHDI Riyadh, Simulation d'une foule virtuelle par la logique floue, MEMOIRE de fin d'étude Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER en Informatique, Université de Mohmad Boudiaf m'sila, 2014/2015.
- [56] Riad LEKHCHINE, Construction d'une ontologie pour le domaine de la sécurité : Application aux agents mobiles, Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Magister en Informatique, Université Mentouri – Constantine, 2008-2009.
- [57] LADJENEF Mohamed, système à base d'ontologie pour l'aide à la maintenance des machines, Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique en Informatique, Université de Mohmad Boudiaf m'sila, 2017/2018.
- [58] Passeport sante, https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=pneumonie_pm, Consulté le : 14-06-2019, 00:37.
- [59] Passeport sante, https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?Doc=grippe_pm, Consulté le : 14-06-2019, 00:40.
- [60] Isabelle BLOCH, Henri MAITRE, Les méthodes de raisonnement dans les images, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, département TSI, CNRS UMR 5141 LTCI, Paris, Avril 2004.
- [61] wikipedia, https://ar.wikipedia.org/wiki/تشخيص_طَب, Consulté le : 01-07-2019, 15:11.

المخلص

في هذا العمل قمنا ببناء الانطولوجيا الغامضة التي تعتمد على المنطق الغامض (الضبابي) في التعامل مع عدم الدقة واليقين التي تتميز به بعض المفاهيم والعلاقات ، وهذه الانطولوجيا هدفها هو المساعدة في التشخيص الطبي. لسهولة استخدام هذه الانطولوجيا قمنا ببرمجة برنامج بلغة الجافا يعمل على ادارة هذه الانطولوجية الغامضة كونها تعتبر قاعدة المعرفة لهذا البرنامج.

الكلمات المفتاحية : الانطولوجيا الغامضة ، المنطق الغامض ، التشخيص الطبي.

Abstract

In this work, we have constructed a fuzzy ontology based on fuzzy logic to deal with the inaccuracies and uncertainties that characterize certain concepts and relationships, and this ontology is intended to assist in medical diagnosis. To facilitate the use of this ontology, we have programmed a java program that manages this fuzzy ontology as a knowledge base for this program.

Keywords: fuzzy ontology, fuzzy logic, medical diagnosis.

Résumé

Dans ce travail, nous avons construit une ontologie floue basée sur la logique floue pour faire face aux inexactitudes et aux incertitudes qui caractérisent certains concepts et relations, et cette ontologie est destinée à aider au diagnostic médical. Pour faciliter l'utilisation de cette ontologie, nous avons programmé un programme en java qui gère cette ontologie floue comme base de connaissances de ce programme.

Mots clés : ontologie floue, logique floue, diagnostic médical.