



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Khider – BISKRA
Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'informatique

N° d'ordre : GLSD /M2/2020

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de master académique en

Informatique

Parcours : **Génie Logiciels et Systèmes d'Information (GLSD)**

Une ontologie floue : Application au domaine des analyses médicales

Par :
HOUILI HANAN

Soutenu le 27/10/2020, devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade	Président
Ben Seghier Nadia	MCA	Rapporteur
Nom et prénom	Grade	Examineur

Remerciement

Au-delà de la formalité d'usage, c'est avec un grand plaisir que je remercie :

Allah le tout puissant de m'avoir donné la force d'achever ce travail ;

Monsieur Tïbermacine Okba et Monsieur Boulakhras Gharbal pour leurs conseils et leurs orientations ;

Mon encadreur, Madame Ben Seghier Nadia pour sa patience ;

Chacun des membres du jury pour m'avoir fait l'insigne honneur d'accepter de juger mon travail ;

Je ne saurai oublier de remercier toutema familleet mes amis marwa et wassimqui m'ont aidé par leur soutien.

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. Cette ontologie est destinée à aider à l'analyse médicale. Ce domaine de connaissances qui contient des imprécisions et des incertitudes nous permet de mieux tirer profit des avantages de la logique floue et notamment des ontologies floues.

Mots clés : Ontologie floue, Logique floue, Analyse médicale.

Table de matières

Remerciement	II
Résumé	III
Table de matières	IV
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	X
Introduction générale	1
Chapitre 1 : La relation entre Le web sémantique et Les ontologies.....	3
1-introduction	4
2-Le web sémantique	4
2-1_Définition du Web sémantique	4
2-2_Architecture du Web sémantique	4
2-3_Les langages du Web sémantique.....	5
2-4_Quelques applications du Web sémantique	7
3-Les ontologies	8
3-1_Les définitions	8
3-2_Différence entre ontologie et base de connaissances	10
3-3_Différence entre ontologie et hiérarchie de classes	10
3-4_Le rôles et l'intérêt d'ontologie.....	11
3-5_Classification des méthodes de construction	12
3-6_Composantes de l'Ontologie	12
3-7_Cycle de vie d'une Ontologie	13
3-7-1_Besoins et évaluation	14
3-7-2_Conception et évolution	14
3-7-3_Diffusion	15
3-7-4_Utilisation	15
3-8_Classification des ontologies	15
3-8-1_Classification selon l'objet de conceptualisation	15
3-8-2_Classification selon le niveau de complétude	16
3-8-3_Classification selon le niveau de détail	17
3-8-4_Classification selon le formalisme utilisé	17
3-9_Processus de construction d'une ontologie	17
4-Conclusion	18

Chapitre 2 : La Logique Floue, Les Ontologies Floue et les Travaux relatifs	19
1-Introduction	20
2-La logique Floue	20
2-1_Définition de la logique Floue	20
2-2_Logique classique & logique Floue.....	20
2-3_Concepts et définitions	22
2-3-1_Variable linguistique	22
2-3-2_Ensembles flous	22
2-3-2-1_Définition d'un ensemble flou	23
2-3-2-2_Opérations des ensembles flous	24
2-3-2-3_Propriétés des ensembles flous	26
2-3-3_Fonction d'appartenance	27
2-3-3-1_Caractéristiques d'une fonction d'appartenance	27
2-3-3-2_Types de fonctions d'appartenance	28
2-4_Système d'inférence flou.....	29
3-Les Ontologies Floue	30
3-1_Définition d'Ontologies Floues	30
3-2_Différences entre l'Ontologie Floue et l'Ontologie Classique	30
3-3_Les composants des Ontologies Floues.....	31
3-3-1_Les concepts Flous	31
3-3-2_Les relations Floues	32
3-3-3_Les axiomes.....	32
3-3-4_Les instances	33
3-4_Approche de la construction des composants d'Ontologies Floues.....	33
3-5_Logiques de descriptions.....	34
3-5-1_T-Box	35
3-5-2_A-Box.....	36
3-5-3_Famille des langages des logiques de descriptions	36
3-5-3-1_La syntaxe d' \mathcal{A}	36
3-5-3-2_La syntaxe de SHIQ.....	38
3-5-3-3_La sémantique de SHIQ.....	38
3-5-3-4_La syntaxe d'AL Cs	38
3-5-3-5_La sémantique d'AL	39
3-5-3-6_Les extensions d'AL	39

3-6_Logiques de descriptions floues	40
3-6-1_La sémantique des logiques de descriptions floues	41
3-6-2_Les moyens de logiques de descriptions floues	42
4-Les travaux	43
5-Conclusion	43
Chapitre 3 : Conception d'une ontologie floue (étude de cas : les analyses médicales) ..	45
1-Introduction	46
2-Choix de la méthode de construction de notre ontologie	46
3-Étapes du processus de construction de notre ontologie	46
3-1_Etape d'évaluation des besoins	47
3-2_Etape de conceptualisation	48
3-3_Etape de formalisation.....	49
3-4_Etape d'opérationnalisation.....	52
3-5_Etape de vérification.....	52
4-Conception détaillée de l'ontologie floue proposée	52
4-1_Evaluation des besoins	53
4-2_Conceptualisation	53
4-2-1_Construction du glossaire de termes	53
4-2-2_Construction du dictionnaire des concepts précis	53
4-2-3_Construction du dictionnaire des concepts flous	59
4-2-4_Construction de la hiérarchie de concepts.....	61
4-2-5_Construction du diagramme de relations binaires (Précises et floues)	63
4-2-6_Table des relations binaires (Précises et floues).....	68
4-2-7_Table des attributs	70
4-2-8_Table des axiomes logiques.....	71
4-2-9_Table des instances des concepts précis	74
4-2-10_Table des instances des concepts flous.....	75
4-2-11_Table des assertions précises	75
4-2-12_Table des assertions floues	76
4-3_Formalisation (Ontologisation)	76
4-3-1_Représentation de la partie terminologique (T-Box).....	76
4-3-1-1_Définitions des concepts précis.....	77
4-3-1-2_Définition des relations précises	78
4-3-1-3_Définition des concepts flous.....	79

Table de matières

4-3-1-4_Définition des relations floues	85
4-3-1-5_Inclusion des concepts	87
4-3-2_Représentation de la partie assertionnelle (A-Box)	88
5-Conclusion.....	88
Chapitre 4 : Implémentation	89
1-Introduction	90
2-Opérationnalisation	90
2-1_Implémentation de l'ontologie	90
2-1-1_Définition de la hiérarchie de concepts.....	90
2-1-2_Définition des relations entre les concepts (rôles)	91
2-1-3_Définition des concepts flous	91
2-1-4_Instanciation des concepts.....	91
2-1-5_Code OWL généré.....	93
2-2-6- la hiérarchie des classes illustrées.....	95
3-Conclusion.....	95
Conclusion générale	96
Bibliographie	97
Liste des acronymes.....	102

Liste des figures

Figure 1. 1 : Les couches du web sémantique.

Figure 1. 2 : Le cycle de vie d'une ontologie [MAN et al, 18].

Figure 1. 3 : Processus de construction d'ontologie [HEM 05].

Figure 2. 1 : Logique floue vs logique booléenne.

Figure 2. 2 : Classification des températures d'une pièce en deux sous-ensembles [DJA 09].

Figure 2. 3 : variable linguistique.

Figure 2. 4 : la différence entre un ensemble classique et l'ensemble floue.

Figure 2. 5 : Union de deux variables linguistiques.

Figure 2. 6 : intersection de deux variables linguistiques.

Figure 2. 7 : Complément d'un ensemble flou.

Figure 2. 8 : caractéristiques d'une fonction d'appartenance [AYO 12].

Figure 2. 9 : Fonction d'appartenance triangulaire [LIN et al, 08].

Figure 2. 10 : Fonction d'appartenance trapézoïdale [TRA et al, 08].

Figure 2. 11 : Fonction d'appartenance gaussienne [AYO 12].

Figure 2. 12 : Moteur d'inférence flou [LEO 97].

Figure 2. 13 : Concepts flous [STR 05].

Figure 2. 14 : Exemple de relations floues [MAA et al, 10].

Figure 2. 15 : Approche de construction des composants d'ontologies floues [MOU 12].

Figure 3. 1 : Etapes du processus de développement.

Figure 3. 2 : Fonction d'appartenance du concept Température-élevé.

Figure 3. 3 : Exemple d'une relation floue « Est diabétique ».

Figure 3. 4 : Hiérarchie de concepts.

Figure 3. 5 : Hiérarchie de concepts de Covid-19.

Figure 3.6 : diagramme permet de représenter les différentes relations qui existent entre les divers concepts.

Figure 4. 1 : Hiérarchie de classes.

Figure 4. 2 : Relations entre concepts.

Figure 4. 3 : Instanciation du concept précis « Laboratoire ».

Figure 4. 4 : L'onglet fuzzy owl de plugin.

Table de figures

Figure 4. 5 :Menu des options de plugin.

Figure 4. 6 :Création d'un type de donnée avec fuzzy owl.

Figure 4. 7 :Des requêtes de fuzzy DL raisonneur.

Figure 4. 8 :la hiérarchie des classes avec OntoGraf.

Liste des tableaux

Tableau 2. 1 : Les principales différences entre l'ontologie floue et l'ontologie classique [DEV et al, 15].

Tableau 2. 2 : Une base de connaissances composée d'une T-Box et d'une A-Box [FOU 05].

Tableau 2. 3 : Une base de connaissances composée d'une T-Box et d'une A-Box [FOU 05].

Tableau 2. 4 : La grammaire des expressions conceptuelles selon SHIQ [CHA et al, 14].

Tableau 2. 5 : Sémantique de la logique SHIQ [CHA et al, 14].

Tableau 2. 6 : La grammaire des expressions conceptuelles selon ALC [BER 19].

Tableau 2. 7 : Sémantique de la logique AL [MOU 12].

Tableau 2. 8 : Exemple de constructeurs de rôles et concepts pour étendre AL [FOU 05].

Tableau 2. 9 : équations de l'interprétation standard [MOU 12].

Tableau 3. 1 : Glossaire de termes.

Tableau 3. 2 : Dictionnaire des concepts précis.

Tableau 3. 3 : Dictionnaire des concepts flous.

Tableau 3. 4 : Table des relations binaires (Précises et floues).

Tableau 3. 5 : Table des attributs.

Tableau 3. 6 : Table des axiomes logiques.

Tableau 3. 7 : Table des instances des concepts précis.

Tableau 3. 8 : Table des instances des concepts flous.

Tableau 3. 9 : Table des assertions précises.

Tableau 3. 10 : Table des assertions floues.

Tableau 3. 11 : Définition des concepts précis.

Tableau 3. 12 : Définition des relations précises.

Tableau 3. 13 : Définition des concepts flous.

Tableau 3. 14 : Définition des relations floues.

Tableau 3. 15 : Inclusion des concepts.

Tableau 4. 1 : Exemple code de langage OWL.

Introduction Générale

❖ Contexte

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 d'analyse médicale 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 d'analyse médicale, 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 de l'analyse médicale 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 à 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 Objectif 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 à l'analyse médicale. Dans ce mémoire notre principal objectif est d'exploiter les avantages de la logique floue pour le développement d'une ontologie floue destinée au domaine des analyses médicales, afin de pouvoir représenter les connaissances imprécises (incertaines) qui caractérisent le domaine investit.

❖ **Plan du mémoire**

Le mémoire est constitué d'une introduction générale, de quatre chapitres et d'une conclusion générale.

- Le premier chapitre entame avec la relation entre le web sémantique et les ontologies.
- Le deuxième chapitre est une vue générale sur la logique floue, les ontologies floues et les travaux relatifs.
- Le troisième chapitre comporte la conception de notre ontologie floue.
- Le quatrième chapitre présente l'implémentation de notre ontologie floue.

Chapitre I

Le Web Sémantique Et Les Ontologies

1. Introduction

Le web sémantique est une nouvelle vision du web, qui consiste à rendre les ressources web non seulement compréhensibles par les humains mais également par des machines, pour réaliser cet objectif le W3C commence à se doter de nouveaux langages et outils plus performants : XML, RDF, OWL ... etc. Partant de séparation de contenu et de présentation grâce à XML, à la description des ressources web par RDF, à la possibilité de faire des raisonnements par OWL. Le web sémantique a fait recours à l'ingénierie des connaissances, pour disposer d'un outil de représentation des connaissances adéquat et il paraît que les ontologies étaient les plus adaptés pour un tel contexte. Dans ce chapitre, nous allons présenter les notions de base sur le concept du web sémantique et les ontologies.

2. Le web sémantique

2.1. Définition du Web sémantique

Le web sémantique est un terme inventé par Tim Berners-Lee qui en dit : "The Semantic Web is an extension of the current web in which information is given well-defined meaning, better enabling computers and people to work in cooperation" [YU 07]. Le web sémantique est donc une nouvelle approche pour l'organisation du contenu du web instaurée dans le but d'améliorer interopérabilité, la découverte et la récupération de ressources. Cependant, le web sémantique n'est pas simplement dédié au World Wide Web. Il représente un ensemble de technologies qui fonctionneront également sur des intranets d'une entreprise. Ainsi, le web sémantique résoudra plusieurs problèmes principaux posés à des architectures courantes de technologie de l'information [GHA 11].

2.2. Architecture du Web sémantique

L'architecture du web sémantique [BER et al, 01] s'appuie sur une pyramide de langages proposée par Tim Berners-Lee pour représenter des connaissances sur le web en satisfaisant les critères de standardisation, interopérabilités et flexibilité.

Cette architecture en couches peut permettre une approche graduelle dans les processus de standardisation et d'acceptation par les utilisateurs. Un langage de la couche haute doit être une extension du langage de la couche au-dessous :

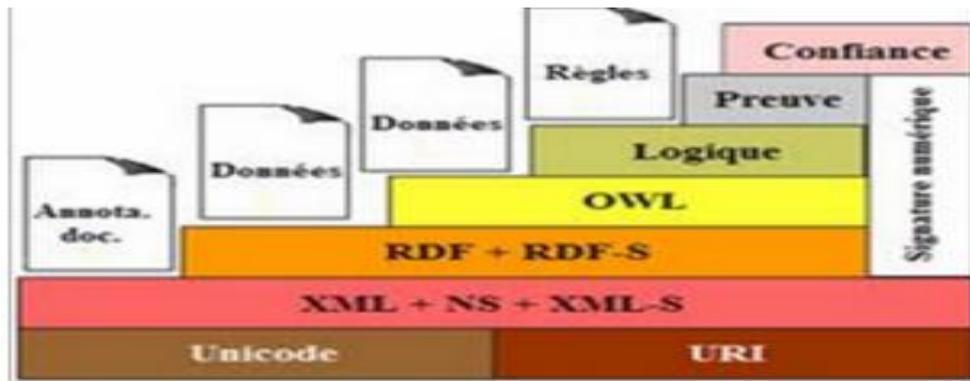


Figure 1. 1 :Architecture du Web sémantique.

Dans ce qui suit nous allons introduire la fonction principale de chaque couche de l'architecture du web sémantique :

- **L'URI** : permet l'identification et localisation de différentes ressources, et unicode permet de définir l'ensemble de caractères constituant l'alphabet, cela sont les constituants de la couche de base de l'architecture.
- **XML** : est utilisé comme couche de base syntaxique du web sémantique, le langage XML est actuellement considéré comme un standard de transport de données web.
- Dans la **couche RDF+RDFS** : apparaissent les langages de représentation de connaissances où la notion de la sémantique est introduite.
- **La couche " OWL "** : fondé 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.
- **Les couches " preuve " et " confiance "** : supportent un mécanisme de communication inter-agents pour valider les résultats de raisonnement, cela pourra assurer la fiabilité des services automatiques du web sémantique.

2.3. Les langages du Web sémantique

Dans le contexte du web sémantique, plusieurs langages ont été développés. La plupart de ces langages repose sur XML ou utilisent XML comme syntaxe. Nous allons présenter les principaux langages du web sémantique, XML, XMLS, RDF et RDFS, OWL, . . . etc.

- XML**: XML est un format standard de représentation des données dans le web développé par la W3C, il permet de représenter les données sous forme d'hierarchie d'élément et ce grâce à l'une de ses principales propriétés, qui est la notion d'arborescence.

–**XML Schéma:** L'équipe de développement des schémas dans le W3C a introduit la notion de schéma XML qui définit l'héritage et le typage de données, permettant d'implémenter une ontologie.

–**RDF:** Le besoin d'un modèle conceptuel devient nécessaire pour la description de chaque ressource. D'où l'introduction de RDF qui est un modèle conceptuel abstrait et formel, fondé sur un modèle de graphe de ressources, permettant de décrire les éléments simplement et sans ambiguïté selon un mécanisme basé sur des déclarations RDF [1]. Une déclaration RDF est une phrase composée d'un triplé <Sujet, Prédicat, Objet > qui peut être traitée par la machine pour permettre à celle-ci de le faire tout en comprenant la signification de ce triplet, chaque sujet du triplet est identifié par un URI, cette identification se fait de manière unique à l'aide d'un nom sans avoir à localiser la ressource (un bon exemple d'URI est l'URL), le prédicat exprime la propriété. Ainsi, RDF permet de définir aisément une ontologie, son inconvénient est qu'il ne supporte pas la vérification de la cohérence des données.

–**RDF Schéma:** Une évolution de RDF est introduite dans RDFS (pour RDF Schéma), ce langage est simple et permet l'implémentation du modèle RDF pour la définition des ontologies avec une approche cette fois-ci orientée objet. Avec RDFS l'avantage de pouvoir créer une hiérarchie de classes et de propriétés, comme dans les langages orientés objet, grâce aux notions de subClassOf et subPropertyOf. On peut bien instancier une classe à l'aide de rdf:type. L'intérêt de définir un schéma RDFS n'est pas seulement de pouvoir contrôler la terminologie et la structure des descriptions RDF, mais également d'introduire la possibilité de raisonner sur les liens is A (est-un) qui existent entre les concepts et les propriétés. Ceci est surtout utile quand on veut interroger des métadonnées pour découvrir des ressources.

–**OWL:** OWL [GRU 93] est un langage de représentation des connaissances normalisé par le W3C en février 2004, est un standard basé sur la logique de descriptions, il est construit sur RDF et RDFS et utilise la syntaxe RDF/XML, OWL intégré, en plus, des outils de comparaison des propriétés et des classes : identité, équivalence, contraire, cardinalité, symétrie, transitivité, disjonction. En fait, OWL est issu des travaux autour du langage DAML+OIL, lui-même fusion de deux projets l'un européen, OIL, et l'autre américain, DAML. Le langage OWL fournit des mécanismes pour créer tous les composants d'une ontologie : classes, instances, propriétés et axiomes, il ajoute la possibilité de faire la comparaison entre des propriétés et des classes : identité, équivalence, contraire, symétrie, cardinalité, transitivité, disjonction, etc. OWL se compose de trois sous-langages : OWL Lite, OWL DL et OWLFull [2][AMA 07].

–**OWL-Lite** : est conçu pour représenter des hiérarchies avec des contraintes limitées, par exemple OWL-Lite ne permet pas d’exprimer des contraintes de cardinalité autres que 0 ou 1, mais permet en revanche d’exprimer la transitivité ou les propriétés inverses. OWL-Lite permet de définir des concepts intersection, mais pas des concepts union. En contrepartie OWL-Lite est toujours décidable et il est aisé d’implémenter un moteur d’inférence.

–**OWL-DL** : est un sur ensemble d’OWL-Lite qui offre un maximum d’expressivité tout en maintenant la complétude et la décidabilité des algorithmes d’inférence. OWL-DL offre notamment la possibilité d’exprimer des concepts union, des concepts énumérés, des concepts disjoints et la négation de concepts.

–**OWL-Full** : est un sur ensemble de OWL-DL qui offre la possibilité de recouvrement des types : un concept peut aussi être un individu ou une propriété et réciproquement. La contrepartie de cette expressivité est la perte de la décidabilité : rien ne garantit qu’un moteur d’inférence fournisse une réponse en un temps fini. OWL2 [BAG et al, 04], est la nouvelle mouture d’OWL. Elle offre de nouvelles constructions permettant une plus grande expressivité des restrictions (par exemple la disjonction des propriétés) et facilitant l’écriture des motifs fréquemment rencontrés en OWL- DL (par exemple un concept qui fait l’union de plusieurs concepts disjoints).

2.4. Quelques applications du Web sémantique

- **E-commerce** : Le e-commerce va nous permettre d’avoir un échange plus fluide d’information et de transactions entre tous les acteurs économiques, depuis l’offreur de produits ou les services jusqu’aux clients [CHA et al, 03]. Les applications du B2B ont une plus longue histoire et utilisent les échanges informatisés via des structures de messages et de protocoles très codifiées, préétablies et normalisées.
- **E-Learning** : L’objectif du e-Learning est de remplacer les anciennes façons concernant le temps, la place, le contenu de l’apprentissage prédéterminé avec des processus d’apprentissage à temps, à la place de travail, de manière personnalisé et à la demande de l’utilisateur [BOU 04]. On trouve que les exigences principales du système du e-Learning sont la rapidité, le temps juste et l’apprentissage pertinent. Grâce à la propriété clé de l’architecture du web sémantique avec le sens partagé commun, métadonnées traitables par les machines, ces exigences peuvent être satisfaites. Le matériel d’apprentissage va être annoté par ontologie, et puis, on doit leur composer dans des cours et faire la livraison active des cours à travers des portails d’apprentissage.

- **Applications médicales :** La médecine est parmi les domaines d'applications privilégiés du web sémantique, des techniques de l'intelligence artificielle, en particulier les systèmes experts. C'est en effet un domaine complexe où les informations à partager sont nombreuses et où il n'y a pas ou peu de solutions algorithmiques à ce partage comme à l'usage des connaissances, en particulier cliniques. Ainsi, un des principaux mécanismes du web sémantique qui est la description de ressources via des annotations est de la plus grande importance en bio-informatique, plus particulièrement autour des questions de partage des ressources génomiques. Dans le contexte, plus ancien, de la recherche d'information, la médecine a une longue tradition de développement de thésaurus comme UMLS, et les utilise maintenant dans le cadre des mécanismes du web sémantique.

3. Les ontologies

3.1. Les définitions

- **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 [MAN et al, 18].
- 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» [HAD 12].
- **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 [ROM 09].
- **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 [CHA et al, 14].
- 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 [TEL 11].
- 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 [TEL 11].

Pour mieux saisir la notion d'ontologie on présente ici ce qui est la différence entre une ontologie et une base de connaissance et entre une ontologie et une hiérarchie de classes dans le paradigme orienté objet.

3.2. Différence entre ontologie et base de connaissance

Farquhar en 1997 lors d'un forum de discussion sur l'ontologie propose que plus la réponse aux questions suivantes soit positive, plus c'est ontologique que base de connaissance:

« Est ce que cela exprime la connaissance consensuelle d'une communauté de gens ? Est-ce que les gens l'utilisent comme une référence de termes définis avec précision ? Est-ce que le langage utilisé est suffisamment expressif pour que les gens puissent dire ce qu'ils veulent dire ? Est-ce que cela peut être utilisé pour de multiples cas de résolution de problèmes ? Est-ce que c'est stable ? Est-ce que cela peut être utilisé pour résoudre une variété de différents types de problèmes ? Est-ce que cela peut être utilisé comme pont de départ pour construire de multiples types d'applications incluant une base de connaissances, un schéma de base de données ou un programme orienté objet ?».

Cela veut dire qu'une différenciation claire entre « ontologie » et « base de connaissances » devrait se faire à partir de son rôle, une ontologie fournit un système de concepts qui sont utilisées pour construire une base de connaissances par-dessus ; par conséquent, une ontologie peut être une spécification de la conceptualisation du monde cible que se fait l'ingénieur qui construit la base de connaissances, donc un méta système d'une base de connaissances traditionnelle.

3.3. Différence entre ontologie et hiérarchie de classes

Au niveau supérieur, la méthodologie de développement d'une ontologie et celle d'une hiérarchie orientée objet sont similaires. Cependant au niveau inférieur, l'ontologie se concentre sur les aspects déclaratifs tandis que la hiérarchie orientée objet se concentre sur les aspects reliés à la performance. Par conséquent, la différence essentielle entre les deux est que l'ontologie exploite la représentation déclarative, tandis que le paradigme orienté objet est intrinsèquement procédural, la signification d'une classe, d'une relation entre des classes, ainsi que les méthodes sont intégrées de façon procédurale.

Dans le paradigme ontologique les descriptions sont faites de façon déclarative, ce qui permet au système de modifier son comportement en modifiant la connaissance qu'il possède[STI 04].

3.4. Le rôle et l'intérêt 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 [GHE 06].
- Conception/Indexation de bases de données : Une ontologie étant une conceptualisation d'un domaine d'étude, elle peut être utilisée comme une connaissance pour la conception d'une base de données.
- Intégration de données : Un système d'intégration fournit une interface d'accès unique à des données stockées dans plusieurs sources. Ces dernières sont en général conçues indépendamment l'une de l'autre par des concepteurs différents.
- Traitement du langage naturel : Le traitement du langage naturel aborde entre autres le problème de la compréhension du langage humain par un ordinateur. L'analyse syntaxique et sémantique du langage naturel est une étape clé pour la résolution de ce problème dont les ontologies peuvent être utilisées dans ces étapes pour construire le lexique utilisé lors de l'analyse syntaxique d'un texte, et pour effectuer des traitements complexes lors de l'analyse sémantique du texte tel que la résolution des problèmes de polysémie [AN et al, 06].
- Interopérabilité de logiciels : L'utilisation d'un modèle comme une spécification d'un logiciel est à la base de l'approche MDA, dans cette approche, un modèle est utilisé pour générer le code de l'application. Le lien formel entre le modèle et le code permet alors de faire évoluer ce dernier lorsque la spécification du logiciel évolue.
- Le web : La généralisation des accès haut débit au réseau internet a provoqué un fort engouement pour ce média de communication. L'ensemble des services qui y sont offerts

par le web sont parfois assez isolés. Par conséquent, pour arriver au résultat escompté, un utilisateur doit, soit avoir une connaissance approfondie du web, soit passé par une période fastidieuse de navigation sur plusieurs sites web. Cette difficulté vient du fait que les noms utilisés pour décrire un même service sont très différents et dépendent du créateur du service. L'idée du web sémantique [BER et al] est de développer des ontologies de domaine puis d'indexer les services par leur description en termes de ces ontologies, rendant ainsi la recherche automatisable et réalisable par des agents informatiques.

- La communication : Une ontologie facilite la communication en fournissant une spécification explicite d'un domaine. De plus les ontologies permettent d'assurer la consistance et d'enlever l'ambiguïté dans les descriptions de connaissances.

3.5. Classification des méthodes de construction

- **Méthodes manuelles:** Il s'agit de réaliser une nouvelle ontologie ou étendre une ontologie existante de façon manuelle [BEN et al, 13].
- **Méthodes automatiques :** L'ontologie est construite par des techniques d'extraction des connaissances à partir d'un texte. Des concepts et des relations entre eux sont extraits ensuite vérifiés par des inférences (opération intellectuelle par laquelle on passe d'une vérité à une autre, jugée telle en raison de son lien avec la première), pour construire une ontologie [BEN et al, 13].
- **Méthodes mixtes :** Les ontologies sont construites par des techniques automatiques, mais elles permettent d'étendre des ontologies ayant été construites manuellement [BEN et al, 13].

3.6. Composantes de l'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 [CHA et al, 14].

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

- **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) [ABB 18].
- **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 [ABB 18].
- **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 [ABB 18].
- **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. C'est une définition extensionnelle de l'ontologie, par exemple les individus « Amina » et « Saloua » sont des instances du concept « personne » [ABB 18].
- **Instance** : C'est une définition extensionnelle de l'ontologie, par exemple les individus « Amina » et « Saloua » sont des instances du concept « personne » [ABB 18].

3.7. Cycle de vie d'une Ontologie

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 de l'évaluation qui donne naissance, le plus souvent à une étape d'évolution. et de maintenance du modèle. Une réévaluation de l'ontologie et des besoins devra se faire après chaque utilisation significative [HAD 12].

L'ontologie peut être étendue et, si nécessaire, en partie reconstruite. La validation du modèle de connaissances est au centre du processus et se fait de manière itérative.

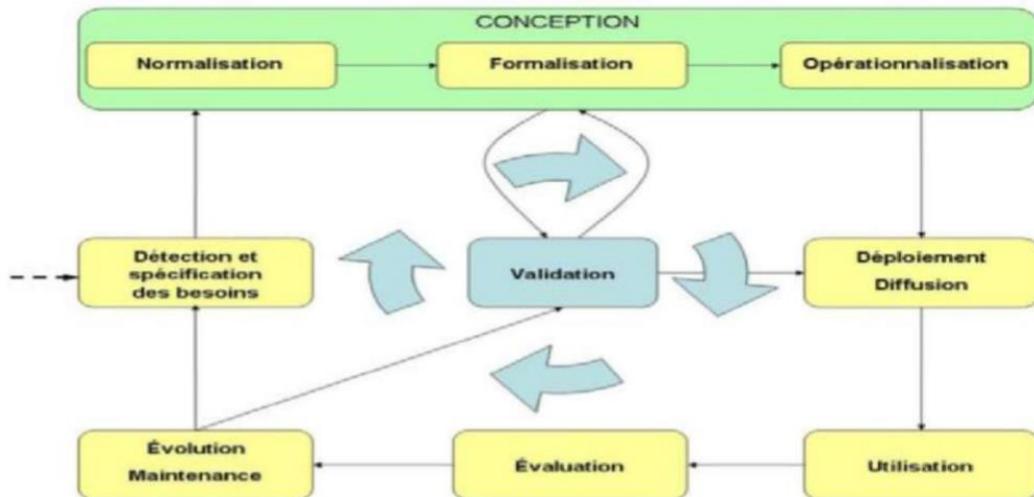


Figure 1. 2 : Le cycle de vie d'une ontologie [MAN et al, 18].

3.7.1. Besoins et évaluation

Dans l'utilisation d'une ontologie, des problèmes méthodologiques de recueil d'information, d'analyse et d'identification peuvent surgir. Afin d'éviter ces problèmes dans l'utilisation d'une ontologie, un état des lieux initial approfondi doit être élaboré dans l'étape de détection des besoins, car cette étape ne peut reposer sur des études précédentes ou des retours d'utilisation comme dans le cas de l'activité d'évaluation [HAD 12].

3.7.2. Conception et évolution

Les phases de conception initiale et d'évolution ont en commun un certain nombre de points :

- spécification des solutions ;
- 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) [HAD 12].

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 [HAD 12].

3.7.3. 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].

3.7.4. 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 [HAD 12].

3.8. Classification des 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 [OUA 09].

3.8.1. Classification selon l'objet de conceptualisation

Les ontologies peuvent être subdivisées en différents niveaux, Comme suit [OUA 09]:

- **Les ontologies de type thesaurus** : Sont aussi appelées taxonomie, elles servent à définir un vocabulaire de référence.
- **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.

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

3.8.2. Classification selon le niveau de complétude

On peut définir trois niveaux de complétude [3]:

- **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.
- **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.
- **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.

3.8.3. Classification selon le niveau de détail

On peut différencier les ontologies selon le niveau de description utilisé [GHE 14]:

- **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.
- **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.

3.8.4. Classification selon le formalisme utilisé

On peut distinguer les ontologies selon le formalisme utilisé pour les exprimer [OUA 09].

- **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.

3.9. Processus de construction d'une ontologie

Le processus de construction d'ontologie est une collaboration qui réunit des experts du domaine de connaissance, des ingénieurs de la connaissance, voire les futurs utilisateurs de l'ontologie. Cette collaboration ne peut être fructueuse que si les objectifs du processus ont été clairement définis, ainsi que les besoins qui en découlent. La construction d'ontologie s'effectue en trois étapes :

- **Conceptualisation** : identification des connaissances contenues dans un corpus représentatif du domaine. Ce travail doit être mené par un expert du domaine, assisté par un ingénieur de la connaissance ;

- **Ontologisation** : formalisation, autant que possible, du modèle conceptuel obtenu à l'étape précédente. Ce travail doit être mené par l'ingénieur de la connaissance, assisté de l'expert du domaine ;
- **Opérationnalisation** : transcription de l'ontologie dans un langage formel et opérationnel de représentation de connaissances. Ce travail doit être mené par l'ingénieur de la connaissance ;

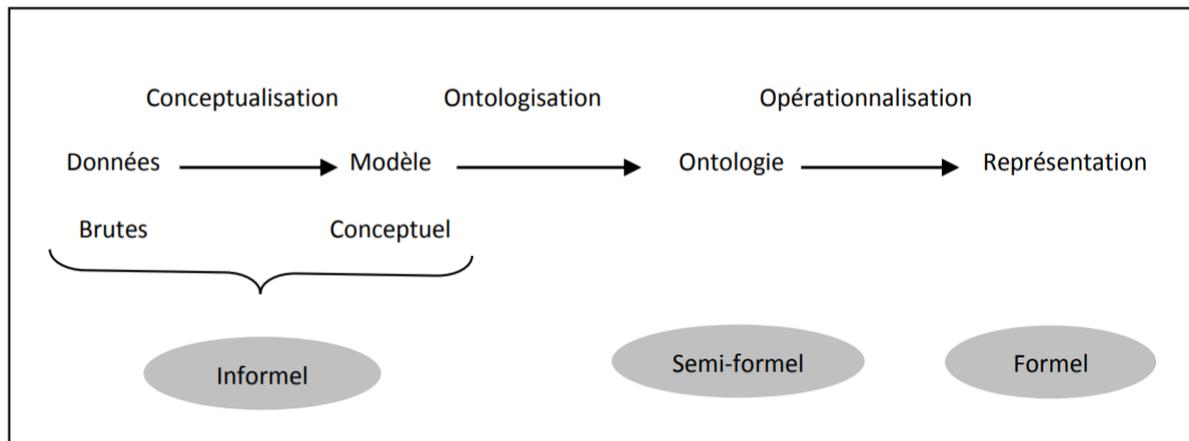


Figure 1. 3 :Processus de construction d'ontologie [HEM 05].

3.10. Conclusion

L'ingénierie des ontologies est devenue une technologie importante pour la découverte sémantique des applications du web, ainsi elle devient la base du web sémantique, tout cela dans le but de rendre le web de demain plus intelligent que le web d'aujourd'hui.

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu général sur le web sémantique et les ontologies. Nous nous sommes intéressés à définir le web sémantique en présentant son architecture ainsi que les différents langages qu'il utilise et nous avons illustrés les applications du web sémantique dans différents domaines. Aussi nous nous sommes intéressés à définir les ontologies en présentant sa définition, son rôle, son intérêt, ses composants, ses outils, ses langages et sa classification.

Dans le chapitre suivant nous présenterons les formalismes de représentation de connaissances les plus adaptés pour la représentation des connaissances dans le Web sémantique qui sont les logiques de descriptions et les logiques de descriptions floue ainsi que les ontologies floues.

Chapitre II

**La Logique Floue, Les Ontologies Floues Et
Les Travaux Relatifs**

1-Introduction

La logique floue a été introduite par Zadeh (1965) comme extension de la logique booléenne. Elle permet à une proposition d'être dans un autre état que vrai ou faux. La logique floue s'appuie sur la théorie mathématique des ensembles flous, introduite aussi par L. Zadeh. Ces ensembles permettent de modéliser l'incertitude et l'imprécision qui caractérisent souvent les représentations humaines des connaissances. Chaque ensemble flou est défini par sa « variable linguistique » et sa « fonction d'appartenance » (Zadeh, 1965). Aujourd'hui, la logique floue est arrivée à maturité et elle est utilisée dans différents domaines d'application. Notre intérêt porte sur son utilisation pour la représentation des données imprécises et incertaines, et plus précisément son intégration dans la définition des ontologies floues.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les notions de base sur le concept de la logique floue et les ontologies floues.

2-La logique Floue

2-1 Définition de la logique Floue

Plusieurs définitions ont été abordées pour le mot logique flou. Dans la suite, nous allons donner quelques définitions :

- **Définition de Zadeh :** La logique floue s'intéresse aux principes formels du raisonnement approximatif, avec un raisonnement précis considéré comme limitant. Il vise à modéliser le mode de raisonnement imprécis qui joue un rôle essentiel dans la capacité humaine remarquable à prendre des décisions dans un environnement d'incertitudes et d'imprécisions [ZAD 88].
- **Définition de Wikipédia :** La logique floue est une forme de logique de grande valeur dans laquelle les valeurs de vérité des variables peuvent être n'importe quel nombre réel entre 0 et 1. En revanche, dans la logique booléenne, les valeurs de vérité des variables ne peuvent être que la valeur entière 0 ou 1. La logique floue a été utilisée pour gérer le concept de vérité partielle, où la valeur de la vérité peut varier entre complètement vrai et complètement faux [BEL 18]. En outre, lorsque des variables linguistiques sont utilisées, ces degrés peuvent être gérés par des fonctions spécifiques (appartenance).
- **Une autre définition :** La logique floue est une méthodologie de résolution de problèmes qui fournit un moyen simple de tirer des conclusions définitives à partir d'informations vagues et imprécises [OMA et al].

2-2 Logique classique & 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 est 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 [DJA 09].

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 2. 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 [DJA 09].

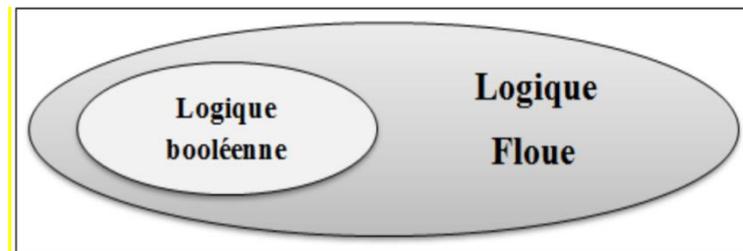


Figure 2. 1 : Logique floue vs logique booléenne.

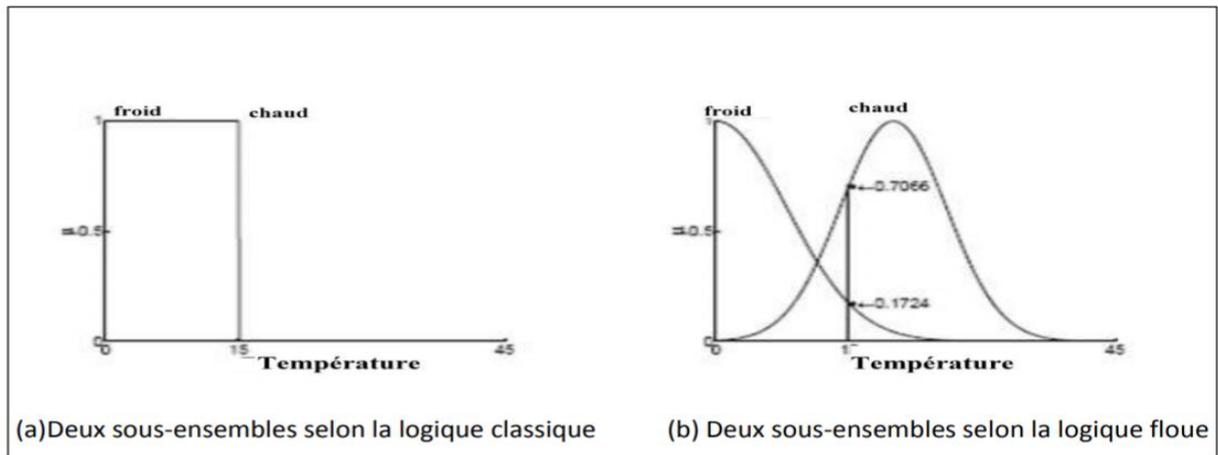


Figure 2. 2 : Classification des températures d'une pièce en deux sous-ensembles[DJA 09].

2-3 Concepts et définitions

2-3-1 Variable linguistique

Une variable linguistique est une variable ayant une valeur qui est une expression de langage naturel faisant référence à une certaine quantité d'intérêt. Les variables linguistiques sont utilisées dans les activités quotidiennes ordinaires.

Ces expressions de langage naturel sont ensuite à leur tour des noms pour des ensembles flous composés des valeurs numériques possibles que la quantité d'intérêt peut assumer [LEO 97]. Un mot ou une phrase de mot est la principale différence entre une variable linguistique et une variable numérique.

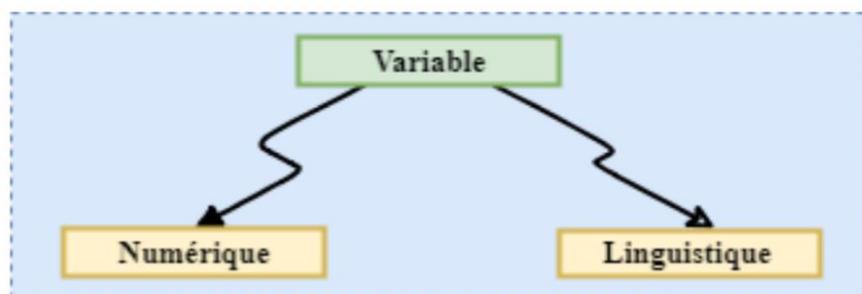


Figure 2. 3 : Variable linguistique.

Les variables linguistiques associent une condition linguistique à une variable numérique. Une variable numérique est le type de variable qui est utilisé dans la plupart des programmes informatiques. Par contre, une variable linguistique a un caractère proportionnel : dans toutes les implémentations logicielles de variables linguistiques, elles sont représentées par des valeurs fractionnaires de l'ordre de 0 à 1[BAN 08].

Selon[WIR 95],une variable linguistique est un terme composite $u = u_1, u_2, \dots, u_n$ qui est une concaténation de termes atomiques u_1, u_2, \dots, u_n . Ces termes atomiques peuvent être divisés en quatre catégories :

- les termes principaux, qui sont les étiquettes des sous-ensembles flous spécifiés de l'univers du discours (par exemple petit et grand);
- Les connecteurs AND, OR et la négation NOT;
- des haies telles que Très, plus, Plutôt, légèrement, Plus ou moins, etc. ;
- des marqueurs tels que des parenthèses.

2-3-2 Ensembles flous

Les ensembles flous fournissent des moyens de modéliser l'incertitude associée au flou, à l'imprécision et au manque d'information concernant un problème ou une usine, etc. Exemple : Considérons la signification d'une «personne de grande taille». Pour une personne X, la personne de grande taille peut être une personne dont la taille est supérieure à 1m80 ". Pour l'autre individu Y, la personne de grande taille peut être une personne dont la taille est supérieure ou égale à 1m70 ". Ce mot "grand" est appelé comme un descripteur linguistique. Le terme «grand» donne le même sens aux individus X et Y, mais on constate qu'ils ne fournissent pas tous deux une définition unique [SIV et al, 07].

Les idées floues et la logique floue sont si souvent utilisées dans notre vie quotidienne que personne n'y prête attention.

2-3-2-1 Définition d'un ensemble flou

Un ensemble flou \tilde{A} est un sous-ensemble d'un univers de discours X, caractérisé par une fonction d'appartenance $u_{\tilde{A}}(x)$ représentant un mappage $u_{\tilde{A}} \rightarrow [0, 1]$. La valeur de fonction $u_{\tilde{A}}(x)$ est appelée la valeur d'appartenance, qui représente le degré de vérité que x est un élément de l'ensemble flou. On suppose que, $u_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]$ où $u_{\tilde{A}}(x) = 0$ révèle que x appartient complètement à, tout en indiquant que x n'appartient pas à l'ensemble flou \tilde{A} [LIN et al, 08].

Les ensembles classiques sont des ensembles sans ambiguïté dans leur appartenance. La théorie des ensembles flous est une théorie très efficace pour traiter les concepts d'ambiguïté. Dans l'ensemble classique, sa fonction caractéristique assigne une valeur de 1 ou 0 à chaque individu dans l'ensemble universel, là en discriminant entre les membres et les non-membres de l'ensemble numérique considéré. Les valeurs assignées aux éléments de l'ensemble universel se situent dans une plage spécifiée et indiquent la qualité d'appartenance de ces éléments dans l'ensemble. Les plus grandes valeurs indiquent des degrés plus élevés

d'appartenance à un ensemble, une telle fonction est appelée une fonction d'appartenance et l'ensemble est défini par un ensemble flou.

Un ensemble flou est donc un ensemble contenant des éléments ayant différents degrés d'appartenance à l'ensemble. Cette idée contraste avec le classique ou crisper, car les membres d'un ensemble réel ne seraient pas membres à moins que leur adhésion soit complète dans cet ensemble (appartenance à une valeur de 1). Les éléments d'un ensemble flou, parce que leur appartenance n'a pas besoin d'être complète, peuvent également être membres d'un autre ensemble flou sur le même univers. L'ensemble flou est mappé à une valeur numérique réelle dans l'intervalle 0 à 1. Si un élément de l'univers, disons x , est un membre de l'ensemble flou A , le mappage est donné par $u(x) \in [0, 1]$.

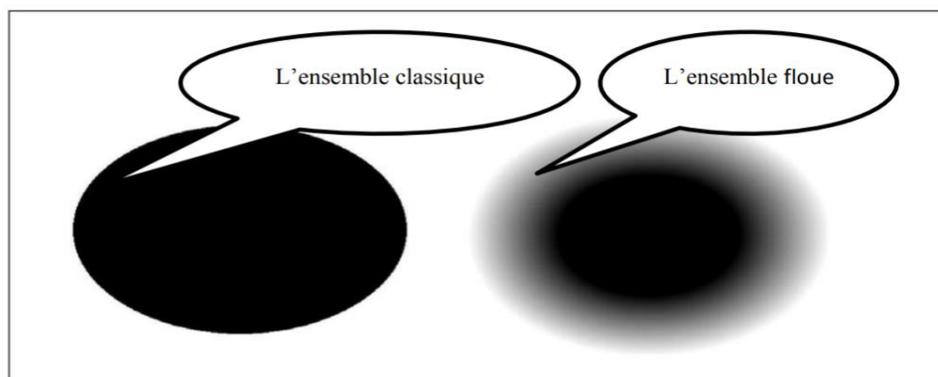


Figure 2. 4 : la différence entre un ensemble classique et l'ensemble flou.

Comparé à un ensemble classique, un ensemble flou permet aux membres d'avoir une frontière. En d'autres termes, un ensemble flou permet à un membre d'appartenir à un ensemble à un degré partiel.

L'ensemble flou est un outil puissant qui nous permet de représenter des objets ou des membres d'une manière vague ou ambiguë. L'ensemble flou fournit également une manière qui est similaire aux concepts et au processus de pensée d'un être humain. Cependant, seul l'ensemble flou lui-même ne peut mener à aucun produit utile et pratique tant que le processus d'inférence floue n'est pas appliqué [BAI et al, 06].

2-3-2-2 Opérations des ensembles flous

Le concept de sous-ensemble flou est une généralisation du concept d'ensemble classique, on est conduit à introduire des opérations sur les sous-ensembles flous qui sont équivalentes aux opérations classiques de la théorie des ensembles lorsqu'on a affaire à des fonctions d'appartenance à valeurs 0 ou 1. Dans ce qui suit, nous allons présenter les opérations les plus couramment utilisées [AMB 09].

- **Inclusion** : Un ensemble flou $\tilde{A} \subset U$ est inclus dans un autre sous ensemble $\tilde{B} \subset U$ si et seulement si tout élément x de U qui appartient à \tilde{A} appartient aussi à \tilde{B} avec un degré au moins aussi grand.
- **Union** : L'union de deux sous-ensembles flous \tilde{A} et \tilde{B} de U est un ensemble flou constitué des éléments de U affectés du plus grand de leurs deux degrés d'appartenance, donné par $u_{\tilde{A}}$ et $u_{\tilde{B}}$.

C'est l'ensemble $u_{\tilde{C}} = u_{\tilde{A}} \cup u_{\tilde{B}}$ de u tel que:

$$\forall x \in U, u_{\tilde{C}}(x) = \max \{u_{\tilde{A}}(x), u_{\tilde{B}}(x)\}$$

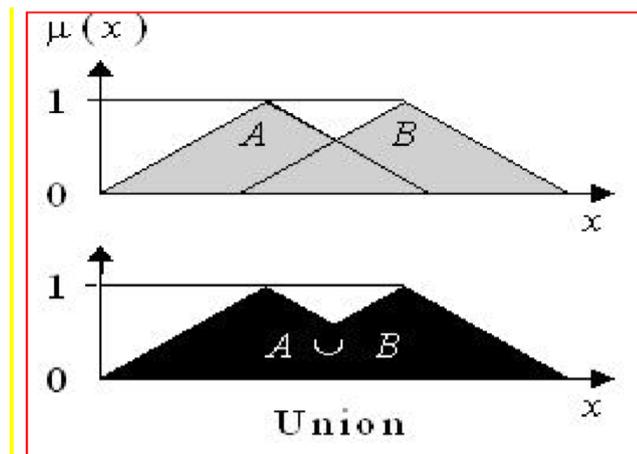


Figure 2. 5 : Union de deux variables linguistiques.

- **Intersection** : L'intersection de deux sous-ensembles flous \tilde{A} et \tilde{B} de U est un ensemble flou constitué des éléments de U affectés du plus petit de leurs deux degrés d'appartenance, donné par $u_{\tilde{A}}$ et $u_{\tilde{B}}$.
C'est l'ensemble $u_{\tilde{C}} = u_{\tilde{A}} \cap u_{\tilde{B}}$ de u tel que:
 $\forall x \in U, u_{\tilde{C}}(x) = \min \{u_{\tilde{A}}(x), u_{\tilde{B}}(x)\}$

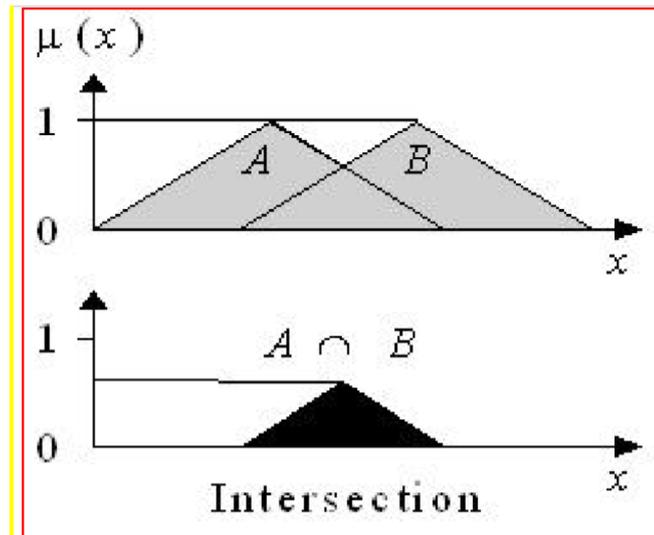


Figure 2. 6 : intersection de deux variables linguistiques.

- **Complément** : Le complémentaire d'un sous-ensemble flou A de X noté A^c est défini par:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

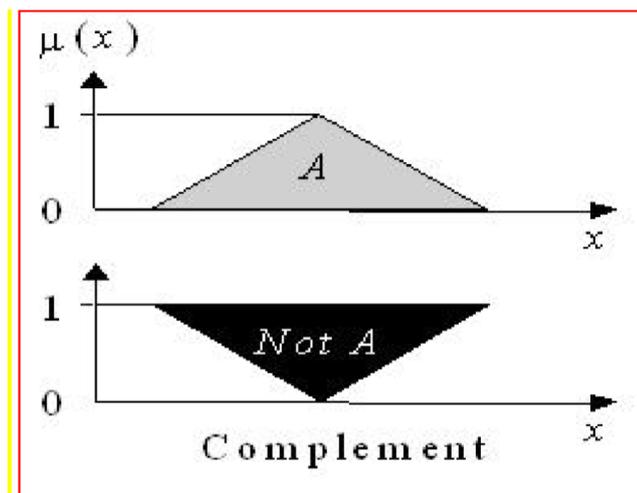


Figure 2.7 : Complément d'un ensemble flou.

2-3-2-3 Propriétés des ensembles flous

Les propriétés de l'ensemble classique conviennent également pour les propriétés des ensembles flous. Les propriétés importantes de l'ensemble flou comprennent [SIV et al, 07]:

- **Commutativité**

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \tilde{B} \cup \tilde{A}$$

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \tilde{B} \cap \tilde{A}$$

- **Associativité**

$$\tilde{A} \cup (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cap \tilde{C}$$

$$\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cap \tilde{C}$$

- **Distributivité**

$$\tilde{A} \cup (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cap (\tilde{A} \cup \tilde{C})$$

$$\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cup \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cup (\tilde{A} \cap \tilde{C})$$

- **Idempotence**

$$\tilde{A} \cup \tilde{A} = \tilde{A}$$

$$\tilde{A} \cap \tilde{A} = \tilde{A}$$

- **Identité**

$$\tilde{A} \cup \emptyset = \tilde{A}$$

$$\tilde{A} \cap X = \tilde{A}$$

$$\tilde{A} \cap \emptyset = \emptyset$$

$$\tilde{A} \cup X = X$$

- **Transitivité**

$$\text{Si } \tilde{A} \subset \tilde{B} \subset \tilde{C} \text{ Alors } \tilde{A} \subset \tilde{C}$$

- **Involution**

$$\overline{\tilde{A}} = \tilde{A}$$

2-3-3 Fonction d'appartenance

L'ensemble classique (net) est défini de manière à dichotomie les individus dans un univers donné de discours en deux groupes : les membres et les non-membres. Un ensemble flou peut être défini mathématiquement en assignant à chaque individu possible dans l'univers du discours une valeur représentant son degré d'appartenance à l'ensemble flou. Un sous-ensemble flou est complètement défini par la donnée de sa fonction d'appartenance.

La logique floue admet des degrés d'appartenance à un ensemble donné. Le degré d'appartenance à un ensemble flou est matérialisé par un nombre compris entre 0 et 1. Une valeur précise de la fonction d'appartenance liée à une valeur de la variable est notée u et appelée facteur d'appartenance [CHE et al, 98].

2-3-3-1 Caractéristiques d'une fonction d'appartenance

Une fonction d'appartenance a plusieurs caractéristiques [ZAD 97][AMB 09] :

- **Le type** : la forme du nombre ou qui peut être triangulaire, trapézoïdale, gaussienne ou sigmoïdale.
- **Support** : Le support d'un sous-ensemble flou de A de X , noté $\text{Supp}(A)$, est l'ensemble de tous les éléments qui lui appartiennent au moins un petit peu.

- **Hauteur** : La hauteur du sous-ensemble flou A de X , notée $h(A)$, est le plus fort degré avec lequel un élément de X appartient à A .
- **Noyau** : Le noyau d'un sous ensemble flou A de X , noté $\text{Noy}(A)$, est l'ensemble de tous les éléments qui lui appartiennent totalement (avec un degré 1).
- **Cardinalité** : La cardinalité d'un sous-ensemble flou A de X , noté A , est le nombre d'éléments appartenant à A pondéré par leur degré d'appartenance

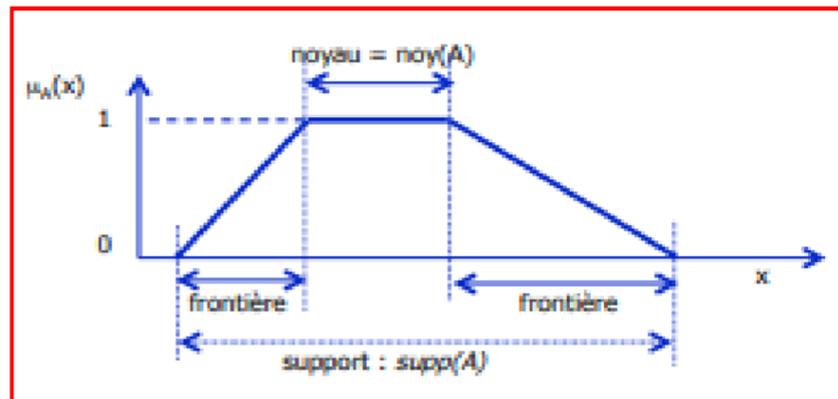


Figure 2. 8 : caractéristiques d'une fonction d'appartenance [AYO 12].

2-3-3-2 Types de fonctions d'appartenance

En pratique, les fonctions d'appartenance peuvent avoir plusieurs types différents, tels que la forme d'onde triangulaire, la forme d'onde trapézoïdale, la forme d'onde gaussienne, la forme d'onde en cloche, la forme d'onde sigmoïdale...Etc. Le type exact dépend des applications réelles. Pour les systèmes qui nécessitent une variation dynamique significative sur une courte période de temps, une forme d'onde triangulaire ou trapézoïdale doit être utilisée [BAI et al, 06].

Pour les systèmes nécessitant une précision de contrôle très élevée, une forme d'onde gaussienne ou en courbe S doit être sélectionnée. Il existe plusieurs types des fonctions d'appartenance, les plus utilisés sont :

- **Fonction d'appartenance triangulaire**

Un nombre triangulaire flou \tilde{N} est défini par un triplé (l, m, u) et la fonction d'appartenance $U(\tilde{N}(x))$ est définie par [KAU et al, 91]:

$$\tilde{N} = \begin{cases} 0 & \text{si } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{si } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{si } x > c \end{cases}$$

Où a, b, c sont des nombres réels et (a < b < c)

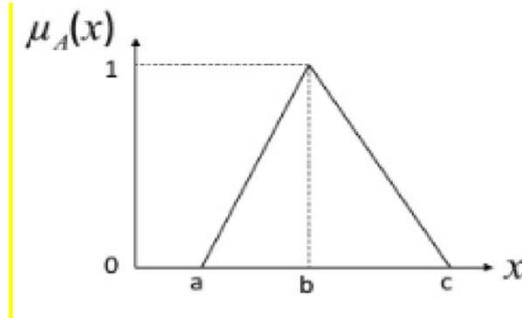


Figure 2. 9: Fonction d'appartenance triangulaire[LIN et al, 08].

▪ **Fonction d'appartenance trapézoïdale**

Une fonction d'appartenance trapézoïdale, est dénie par quadruplet (a, b, c, d). Les paramètres a et b représentent respectivement la limite inférieure et la limite supérieure du support. Les paramètres c et d sont respectivement la borne inférieure et la borne supérieure du noyau. Cette fonction est dénie par l'expression suivante :

$$\tilde{N} = \begin{cases} \frac{x-b}{b-a} & \text{si } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{si } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{si } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

O a, b, c et d sont des nombres réels et (a ≤ b ≤ c ≤ d)

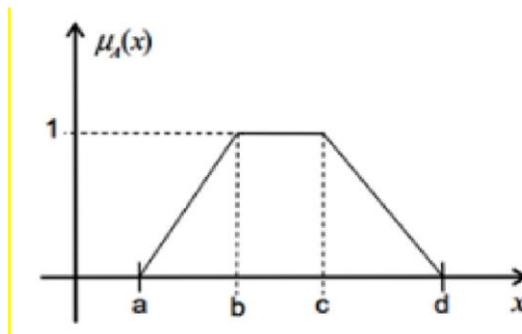


Figure 2. 10: Fonction d'appartenance trapezoidale[TRA et al, 08].

▪ **Fonction d'appartenance gaussienne**

Une fonction d'appartenance gaussienne est caractérisée par sa valeur centrale m et son écart type σ . La fonction d'appartenance gaussienne est définie par :

$\mu_A(x) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2\right)$ sa représentation est comme suit :

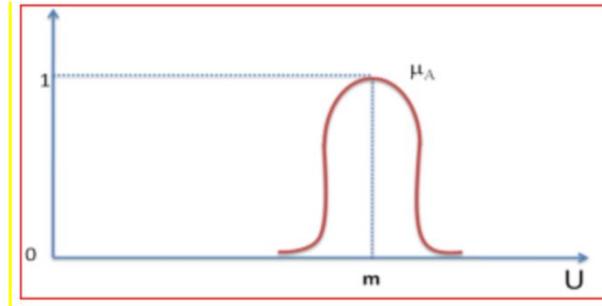


Figure 2. 11: Fonction d'appartenance gaussienne [AYO 12].

2-4 Système d'inférence flou

Le principe d'un système flou, c'est de pouvoir calculer des paramètres de sorties en fournissant au système un ensemble de règles formulés en langage naturel. Pour implémenter un système d'inférence flou, trois étapes sont nécessaires [BAI et al, 06]:

- **Fuzzification** : Convertir des données classiques ou des données numériques en données floues ou fonctions d'appartenance (Membership Fonction);
- **Processus d'inférence floue** : Combiner les fonctions d'appartenance avec les règles de contrôle pour dériver la sortie floue;
- **Defuzzification** : Utiliser différentes méthodes pour calculer chaque sortie associée et les mettre dans une table : la table de recherche. Décrochez la sortie de la table de recherche en fonction de l'entrée en cours pendant une application.

Ces trois étapes constituent ce qu'on appelle moteur d'inférence flou :

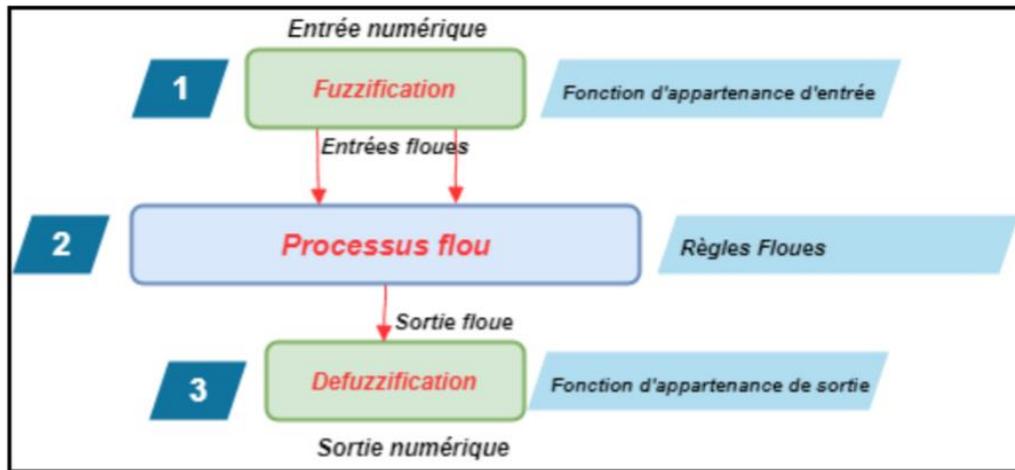


Figure 2. 12: Moteur d'inférence flou [LEO 97].

3 Les Ontologies Floues

3-1 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 [CHA et al, 14].

3-2 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 [BOB et al, 11] 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 suivant.

Aspect	Ontologie floue	Ontologie classique
Termes localisés	Ne se produit pas	Numéro pour la désambiguïisation
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 2. 1 : Les principales différences entre l'ontologie floue et l'ontologie classique [DEV et al, 15].

3-3 Les composants des Ontologies Floues

Une ontologie floue comprend [CHA et al, 14] :

3-3-1 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 2. 13** montrer le concept flou [CHA et al, 14].

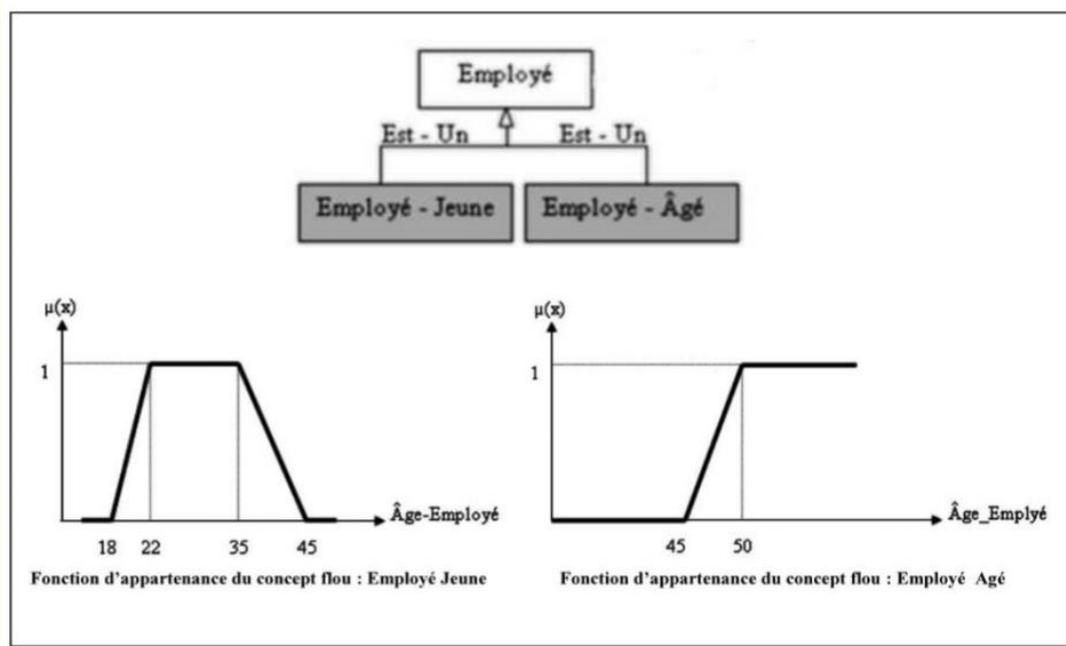


Figure 2. 13 : Concepts flous[STR 05].

3-3-2 Les relations Floues

Une relation floue est une relation binaire (i.e., entre deux concepts d'un domaine) dont la sémantique est décrite par une valeur particulière d'une variable linguistique.

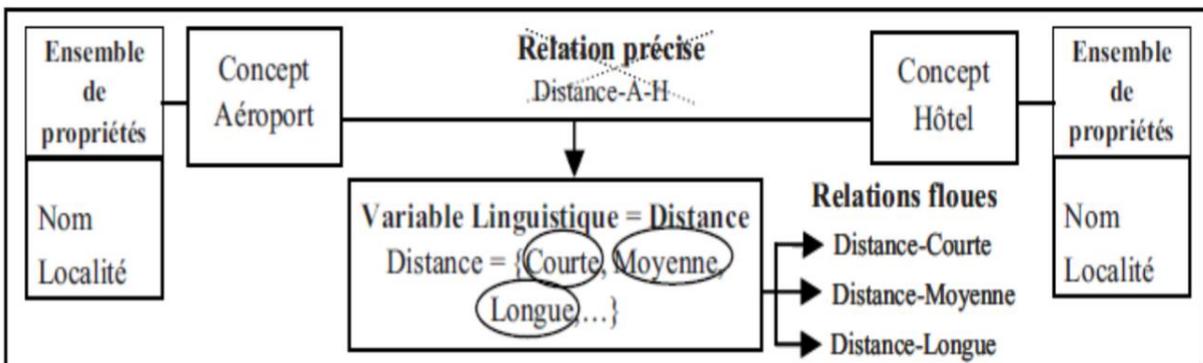


Figure 2. 14 : Exemple de relations floues [MAA et al, 10].

La (Figure 2. 14) montre trois relations floues : Distance-courte, Distance-Moyenne et Distance-Longue.

3-3-3 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. 13) :

- $\text{Emp_Jeune}(\hat{\text{Age}}) = (\hat{\text{Age}} - 18) / (22 - 18)$ 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 [CHA et al, 14].

3-3-4 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 [CHA et al, 14].

3-4 Approche de la construction des composants d'Ontologies Floues

Selon [MAA et al, 10]il y a cinq étapes suivantes (voir **Figure 2. 15**) :

- 1- Constitution de corpus de données sémantiques floues.
- 2- Traitement automatique de corpus de données sémantiques floues.
- 3- Constitution de dictionnaires des concepts pour les ontologies floues.
- 4- Constitution des relations d'héritage et de synonymie pour les ontologies floues.
- 5- Visualisation de la structure de l'ontologie floue.

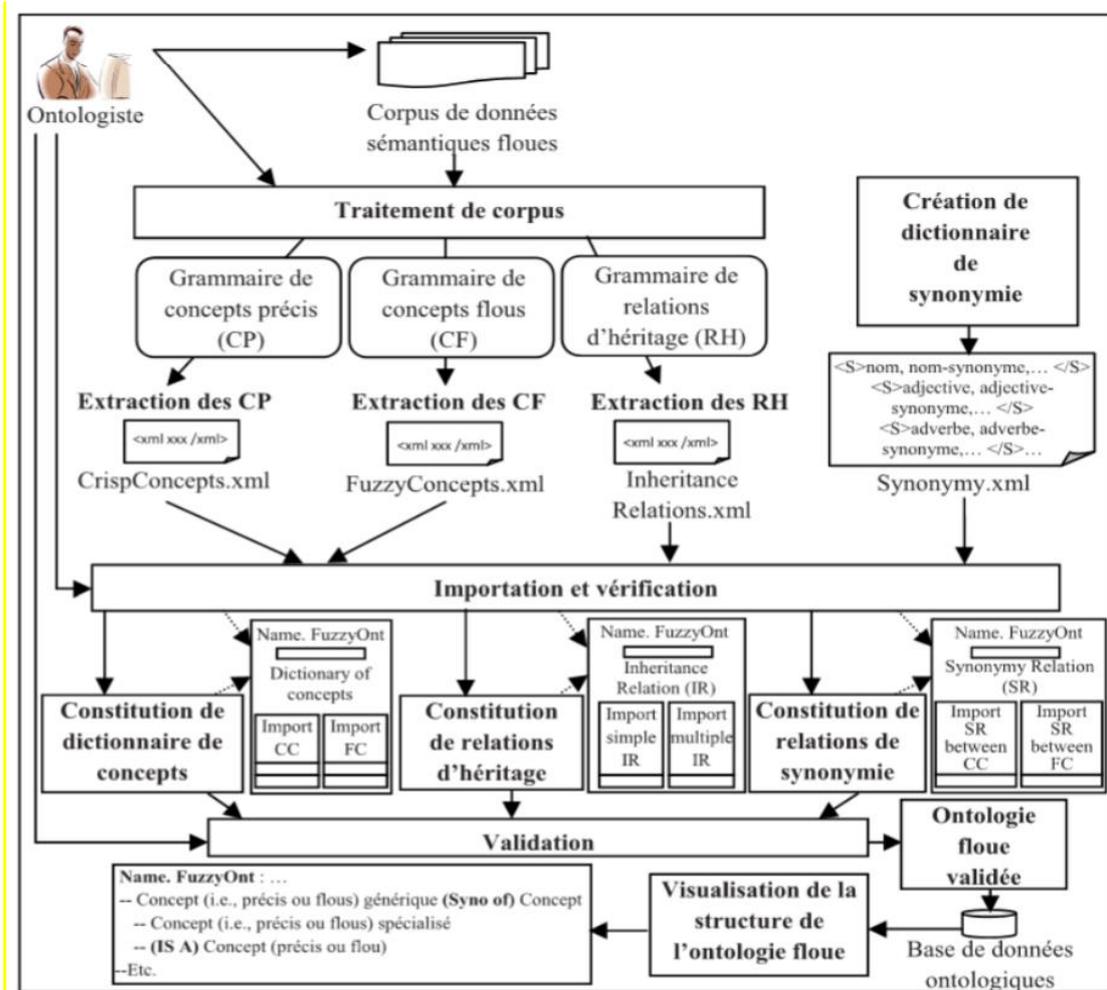


Figure 2. 15: Approche de construction des composants d’ontologies floues [MOU 12].

3-5 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 [MOU 12]:

- **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.
- **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
Femelle \sqsubseteq T	Humain (Mohamed)
Male \sqsubseteq T	Femelle (Mohamed)
Femelle \sqsubseteq T \sqcap \neg Male	Femme (Fatima)
Male \sqsubseteq T \neg Femelle	Humain (Saïd)
Animal \equiv Male \sqcup Femelle	\neg Femelle (Saïd)
Humain \sqsubseteq Animal	Homme (Salim)
Femme \equiv Humain \sqcap Femelle	relationParentEnfant (Fatima, Mohmed)
Homme \equiv Humain \sqcup \neg Femelle	relationParentEnfant (Saïd, 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 2. 2 : Une base de connaissances composée d'une T-Box et d'une A-Box[FOU 05].

3-5-1 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 [FOU 05].

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 relation Parent Enfant) [FOU 05].

b) Les concepts et rôles atomiques prédéfinis : Les logiques de descriptions prédéfinissent minimalement quatre concepts atomiques : le concept T et le rôle T_R , les plus généraux de leur catégorie respective, et le concept \perp ainsi que le rôle \perp_R , les plus spécifiques [FOU 05].

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 [FOU 05].

3-5-2 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 2. 2** 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, $a^I \neq b^I$ [DJE 10].

3-5-3 Famille des langages des logiques de descriptions

Il existe plusieurs langages de descriptions. Dans ce qui suit, nous présentons un langage minimal appelé 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 AL C (équivalent à la logique multimodale $K_{(m)}$) cela signifie AL et complémentation C. Le langage AL s'appuie sur les langages FL et FL⁻, présentés ci-dessous, qui sont les langages pour lesquels ont été établis les premiers résultats théoriques sur les LDs [MOU 12].

3-5-3-1 La syntaxe d'AL

La grammaire d'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)

Tableau 2. 3 : Une base de connaissances composée d'une T-Box et d'une A-Box [FOU 05].

La grammaire des expressions conceptuelles selon AL [DJE 10].

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) [MOU 12].

- 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 $\exists R.C$: 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 [MOU 12].

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 Male \sqcap 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 » [MOU 12].

3-5-3-2 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 2.4 : La grammaire des expressions conceptuelles selon SHIQ [CHA et al, 14].

3-5-3-3 La sémantique de SHIQ

La figure 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 2.5 : Sémantique de la logique SHIQ[CHA et al, 14].

3-5-3-4 La syntaxe d'ALCs

La grammaire d'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 2.6 : La grammaire des expressions conceptuelles selon ALC [BER 19].

Dans ce tableau nous avons Cet D des concepts atomiques ou complexes et R une relation (rôle). Exemple [BER 19] :

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

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

3-5-3-5 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 $R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$ [1].

La sémantique de AL définit plus haut est donnée par la figure suivante [MOU 12]:

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

Tableau 2.7 : Sémantique de la logique AL [MOU 12].

3-5-3-6 Les extensions d'AL

Il existe trois façons d'étendre AL :

1- 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 [BAA et al, 05].

Le **Tableau 2.8** illustre des exemples de constructeurs pour augmenter 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 2.8 : Exemple de constructeurs de rôles et concepts pour étendre AL [FOU 05].

2- 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 [BAA et al, 05].

3- L'extension des types primitifs (D) :

Une dernière extension, symbolisée par la lettre (D), ajoute le support des types primitifs. Cette extension augmente AL d'un second domaine d'interprétation Δ^D disjoint avec Δ^I et qui représente l'ensemble des valeurs de type primitif [BAA et al, 05].

3-6 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 gagné 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 [DJE 10].

Depuis le travail de [YEN 91], 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 [DJE 10].

3-6-1 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 [DJE 10].

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 $\mathbf{T} : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ et $\mathbf{U} : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, appelées respectivement les opérations t-norme et t-conorm, et l'implication floue assurée par une fonction binaire de la forme $\mathbf{J} : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$. 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 : $C(0) = 1$, $C(1) = 0$, $\mathbf{T}(1, a) = a$ et $\mathbf{U}(0, a) = a$ [DJE 10].

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 $R^{-1} : Y \times X \rightarrow [0, 1]$ défini comme $R^{-1}(b, a) = R(a, b)$ [DJE 10].

Les extensions floues des logiques de descriptions ont une sémantique exprimée grâce à la théorie des sous-ensembles flous : pour une interprétation $I = (\Delta^I, \cdot^I)$, 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 : $\mu_{C^I}(a^I)$ [DJE 10].

I doit satisfaire les équations de l'interprétation suivantes :

$$\begin{aligned}
 & \forall x \in \Delta^I \\
 & \mu_{\top}^I(x) = 1 \\
 & \mu_{\perp}^I(x) = 0 \\
 & \mu_{(C \cap D)}^I(x) = \min \{ \mu_C^I(x), \mu_D^I(x) \} \\
 & \mu_{(C \cup D)}^I(x) = \max \{ \mu_C^I(x), \mu_D^I(x) \} \\
 & \mu_{\neg}^I(x) = 1 - \mu_C^I(x) \\
 & \mu_{(\forall R.C)}^I(x) = \inf_{y \in \Delta^I} \{ \max \{ 1 - \mu_{R^I}(x, y), \mu_C^I(y) \} \} \\
 & \mu_{(\exists R.C)}^I(x) = \sup_{y \in \Delta^I} \{ \max \{ 1 - \mu_{R^I}(x, y), \mu_C^I(y) \} \}
 \end{aligned}$$

Tableau 2.9 : équations de l'interprétation standard [MOU 12].

Notant que la sémantique de $(\exists R.C)^I(x)$ peut être vue comme une formule ouverte du 1er 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 [DJE 10].

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 ($C \sqsubseteq D$, $C \equiv D$, $a : C R(a, b)$) 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 [DJE 10].

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. $\mu_C^I(x) \leq \mu_D^I(x) \forall x \in \Delta^I$ [DJE 10].

3-6-2 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 [AQU et al, 04] 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.

4 Les travaux relatifs

- [WID et al, 01]: « un des premiers exemples de l'utilisation des ontologies pour l'affinage des requêtes de recherche d'information a été proposé »
- [OLI et al, 03]et COL : « Ils ont utilisé des relations de similarité, ou de généralisation entre termes, sur la base d'un dictionnaire flou de synonymes et d'une ontologie floue, pour faire un réajustement des pondérations des termes des documents et générer de nouvelles requêtes ».
- Dans le même cadre de recherche, les auteurs dans [BAZ et al, 06]: « décrivent leur approche qui met en œuvre des critères représentés par des ensembles flous. Une méthode dont le principe est de regrouper les mots du document qui sont en relation dans des clusters, où un cluster est tel qu'il existe un chemin entre n'importe quelle paire de mots du cluster, à partir de ces derniers, il faut extraire un ensemble de sous-ensemble flou de mots, qui doivent pouvoir être considérés comme représentatifs du contenu du document. , Le but de cette approche est de pouvoir se rapprocher du cerveau humain qui est capable d'identifier les thématiques d'un texte en le parcourant, sans vraiment chercher à comprendre son contenu. »
- [HUD et al, 08]: « Ils ont utilisé une interprétation sémantique des images peut bénéficier de représentations des concepts utiles et de leurs relations sémantique à l'aide d'ontologies afin de guider l'interprétation d'une image et la reconnaissance des structures qu'elle contient par des informations structurelles sur l'agencement spatial de ces structures. Une contribution originale proposée est l'enrichissement des ontologies par des représentations floues des relations spatiales, qui en précisent la sémantique, et permettent de faire le lien entre ces concepts, souvent exprimés sous forme linguistique, et les informations que l'on peut extraire des images, contribuant ainsi à réduire le fossé sémantique. »

5 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. Un de ces domaines c'est le domaine médicales exactement les analyses médicales. Dans le chapitre suivant nous allons voir la conception de cette ontologie.

Chapitre III

La conception de l'ontologie

1-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... . En effet, les ontologies floues constituent maintenant un axe de recherche très prometteur, sur lequel nous avons situé notre travail. Le but de ce chapitre est de présenter les différentes phases du processus de développement d'ontologies floues.

2- Choix de la méthode de construction de notre ontologie

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" [LAD 17].

3-Étapes du processus de construction de notre ontologie

La figure 3.1 représente le processus de développement de notre ontologie floue.

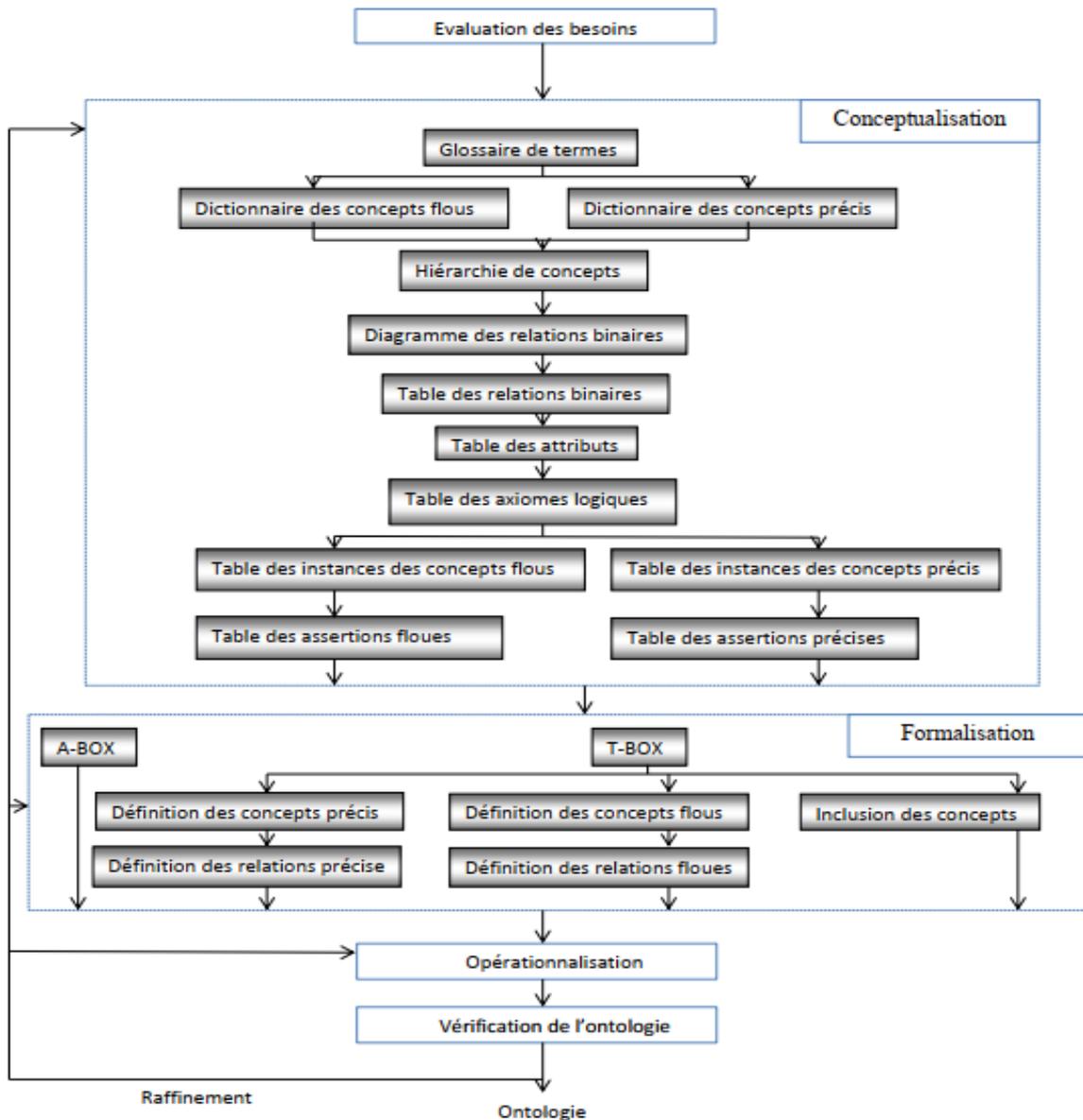


Figure 3.1: Etapes du processus de développement.

3-1 L'étape d'évaluation des besoins

Cette étape permet de décrire l'ontologie à construire à travers les cinq aspects suivants :

- **Le domaine de connaissance :** Une ontologie ne peut être construite que dans le cadre d'un domaine précis de la connaissance. Cet aspect consiste à délimiter précisément le domaine que va couvrir l'ontologie.
- **L'objectif :** Il est indispensable de bien préciser le but de l'ontologie à créer pour le domaine considéré.
- **Les utilisateurs :** Cet aspect consiste à identifier au maximum les futurs utilisateurs de l'ontologie à créer.

- **Les sources d'informations** : Cet aspect consiste à déterminer les sources d'informations d'où les connaissances seront obtenues, par exemple, les experts du domaine, les documents techniques, etc., sont des sources de connaissance.
- **La portée de l'ontologie** : Cet aspect consiste à déterminer à priori la liste des termes (les plus importants) pour le domaine à représenter.

3-2L'étape de conceptualisation

Dans cette étape, nous distinguons les principales activités suivantes :

- **Construction du glossaire de termes** : Le glossaire recueille et décrit tous les termes qui sont utiles et potentiellement utilisables dans le domaine que l'on investit.
- **Construction du dictionnaire des concepts précis** : Le dictionnaire des concepts précis identifie les concepts précis par leurs instances, leurs attributs ainsi que leurs concepts synonymes.
- **Construction du dictionnaire des concepts flous** : Le dictionnaire des concepts flous identifie les concepts flous par leurs instances, leurs attributs ainsi que leurs concepts synonymes et le degré d'appartenance de chaque instance.
- **Construction de la hiérarchie de concepts** : Un arbre de classification de concepts organise les concepts de domaine en taxonomie en utilisant la relation de généralisation (classe/sous-classe).
- **Construction du diagramme des relations binaires (Précises et floues)** : Une relation binaire permet de relier deux concepts entre eux (un concept source et un concept cible). Cette activité consiste à construire un diagramme des relations binaires. Ce diagramme permet de représenter de manière graphique les diverses relations qui existent entre les divers concepts.
- **Table des relations binaires (Précises et floues)** : La table des relations binaires définie pour chaque relation utilisée dans le diagramme, le nom de la relation, le nom des concepts sources et cibles, le nom de la relation inverse et les cardinalité source et cible.
- **Table des attributs** : Pour chaque attribut d'un concept inclus dans le dictionnaire de concepts, la table des attributs spécifie des contraintes et des restrictions sur ces valeurs.
- **Table des axiomes logiques** : La table des axiomes définit les concepts au moyen des expressions logiques. Chaque axiome comporte, le nom de concept sur lequel porte l'axiome, une définition en langage naturelle, et une expression logique. De plus cette table contient l'ensemble des expressions mathématiques qui permettent de calculer les degrés d'appartenance des instances.

- **Table des instances des concepts précis :** La table des instances décrit toutes les instances (incluses dans le champ instances de dictionnaire de concepts) avec leurs attributs et valeurs.
- **Table des instances des concepts flous :** La table des instances des concepts flous décrit toutes les instances avec leurs degrés d'appartenance.
- **Table des assertions précises :** Les assertions affirment l'existence des relations entre des instances. La table des assertions définit pour chaque concept source 'Cs' représenté dans la table des relations binaires et pour chaque instance 'I' de 'Cs' définie dans la table des instances les instances du concept cible 'Cc' qui sont en relation précise par 'Rp' avec l'instance 'I'.
- **Table des assertions floues :** Les assertions affirment l'existence des relations entre des instances. La table des assertions floues définit pour chaque concept source 'Cs' représenté dans la table des relations binaires et pour chaque instance 'I' de 'Cs' définie dans la table des instances les instances du concept cible 'Cc' qui sont en relation floue par 'Rf' avec l'instance 'I'.

3-3 L'étape de formalisation

Dans cette étape, nous distinguons les deux principales phases suivantes :

- ❖ **Représentation de la partie terminologique (T-BOX) :** Les concepts et les rôles sont exprimés de manière déclarative à travers une partie terminologique. Cette dernière comprend des définitions de concepts et de rôles ainsi que des inclusions de concepts :
 - **Définition des concepts précis :** Une définition de concept, associe un nom de concept à une expression de concept de la logique de description. [HEM 05] Il s'agit donc de définir les concepts par des combinaisons booléennes et de contrainte relationnelle, selon la grammaire suivante :

$$\begin{aligned}
 & \langle \text{Concept} \rangle \sqcap \langle \text{Concept} \rangle \mid \langle \text{Concept} \rangle \sqcup \langle \text{Concept} \rangle \mid \\
 & \neg \langle \text{Concept} \rangle \mid \forall \langle \text{role} \rangle. \langle \text{Concept} \rangle \mid \exists \langle \text{role} \rangle. \langle \text{Concept} \rangle \mid \\
 & \geq n \langle \text{role} \rangle. \langle \text{Concept} \rangle \mid \leq n \langle \text{role} \rangle. \langle \text{concept} \rangle \mid
 \end{aligned}$$

- **Définition des relations précises :** Une définition de relation est une expression de l'une des deux formes suivantes :

- $R : (C1, C2)$ où R est un nom de rôle, C1 est un nom de concept source (codomaine) et C2 est un nom de concept cible (domaine).
- $R^- := R1$ où R1 est le rôle inverse pour R

➤ **Définition des concepts flous** : Un concept flou est un concept défini sur la base d'une valeur particulière d'une variable linguistique relative à l'univers de discours. Ses instances possèdent ainsi des degrés d'appartenance prenant leurs valeurs dans l'intervalle $[0,1]$. Ces degrés d'appartenance sont calculés conformément aux formules de calcul relatives à la fonction d'appartenance définie pour le concept [GHO 12]. La définition des concepts flous passe par les étapes suivantes :

- **Définition de la variable linguistique** : On désigne par variable linguistique la notion utilisée lors de la description d'une situation, d'un phénomène, ou d'un procédé, comme la *température*. Chaque variable linguistique prend ses valeurs dans un ensemble de termes linguistiques correspondant à la traduction linguistique de ces divers états. Par exemple, faible, moyenne et élevée.
- **Définition du concept en logique de descriptions** : En fonction du terme linguistique. Exemple :
Température-élevé : $\text{Température-corporelle} \sqcap \exists \text{Température. Elevé}$
- **Définition de la fonction d'appartenance** : Il existe plusieurs types de fonctions d'appartenance : trapézoïdales, triangulaires ou monotones (croissantes ou décroissantes). La figure montre la fonction d'appartenance du concept *Température-élevé*.

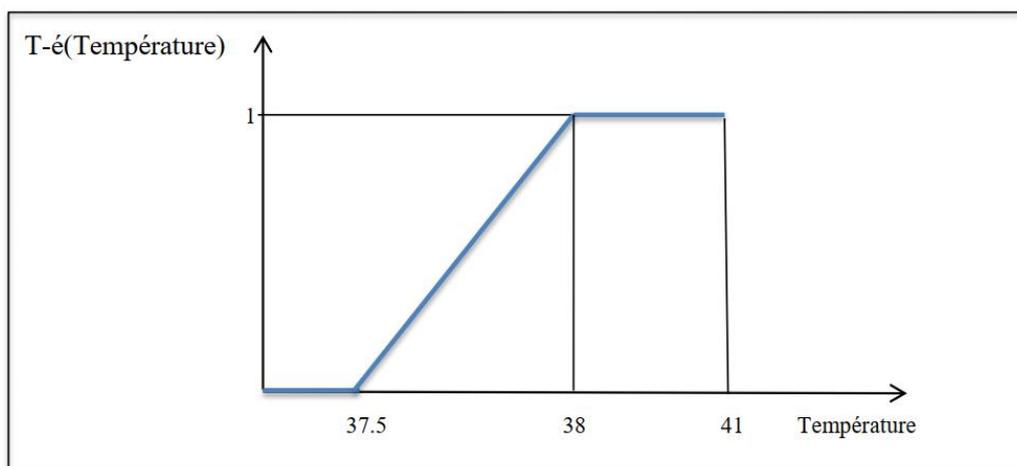


Figure 3.2: Fonction d'appartenance du concept *Température-élevé*.

- **Définition des axiomes :** Nous pouvons utiliser les axiomes pour définir les fonctions d'appartenances des concepts flous. Exemple : axiomes pour le concept flou (Température-élevé)

$$T\text{-é(Température)} = 1 \text{ si Température} \in [38 ; 41] ;$$

$$T\text{-é(Température)} = (\text{Température} - 37.5) / (38 - 37.5) \text{ si Température} \in [37,5 ; 38];$$

$$T\text{-é(Température)} = 0 \text{ Ailleurs}$$

- **Définition des relations floues :** Tandis qu'une relation précise représente la présence ou l'absence d'une association entre les instances de deux concepts, une relation floue est une généralisation d'une relation précise qui peut admettre plusieurs degrés d'association entre les instances de deux concepts. Une relation floue est une relation binaire (entre deux concepts d'un domaine) dont la sémantique est décrite par une valeur particulière d'une variable linguistique.

La définition des relations floues passe par les mêmes étapes que celle des concepts flous : définition de la variable linguistique, définition de la fonction d'appartenance, définition des axiomes.

La figure suivante montre un exemple d'une relation floue « *est diabétique* » qui relie deux concept elle dépend de la variable linguistique : taux du glucose

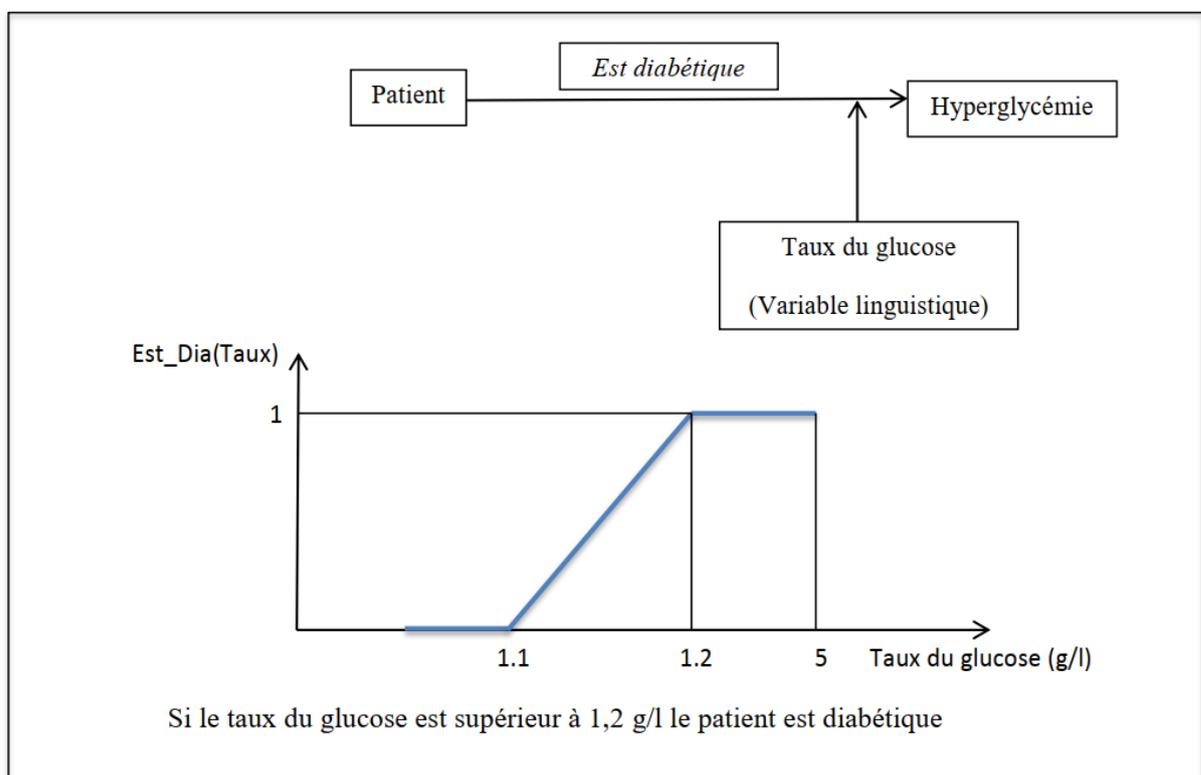


Figure 3.3 : Exemple d'une relation floue « Est diabétique ».

- **Inclusion des concepts** : L'ontologie formelle comprend une hiérarchie de concepts dont la racine est le concept TOP (T). La relation de *subsumption* (notée : \sqsubseteq) est la relation utilisée pour organiser les concepts en hiérarchie taxonomique: Intuitivement, un concept C subsume un concept D (ce qui se note $D \sqsubseteq C$) si « C » est plus général que D au sens où l'ensemble d'individus représenté par C contient l'ensemble d'individus représenté par D. Exemple : $\text{Personne} \sqsubseteq T$, $\text{Patient} \sqsubseteq \text{Personne}$
- ❖ **Représentation de la partie assertionnelle (A-BOX)** : La partie assertionnelle (A-box), est un ensemble d'axiomes décrivant des situations concrètes, par rapport au domaine que l'on investit. Pour chaque individu (instance définie dans la table des instances) et pour chaque rôle (relation définie dans la table des assertions), nous décrivons les deux formes suivantes :
 - **C : a** où « C » est un concept défini et **a** est un individu.
 - **(a1, a2) : R** où **R** est un rôle défini et a1, a2 sont deux individus définis.

Exemple : Patient : Rachid Mekhloufi
(SaidMebarki, 2,2g/l) est diabétique

3-4 L'étape d'opérationnalisation

Cette étape consiste à traduire le résultat de l'étape précédente (ontologie formelle) dans un langage de définition d'ontologie opérationnel. Le langage de codification utilisé pour représenter l'ontologie est : OWL (un langage de définition d'ontologie pour le Web).

3-5 L'étape de vérification

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

4 Conception détaillée de l'ontologie floue proposée

Nous avons développé une ontologie dédiée au domaine des analyses médicales qui est une spécialité médicale qui consiste en l'exécution d'analyses sur les liquides biologiques et en l'interprétation médicale des résultats dans le but de caractériser l'origine physiopathologique d'une maladie. On distingue plusieurs examens dans le domaine des analyses médicales tels

que : COVID-19, signes vitaux, l'indice de masse corporelle, les constituants du sang, les hormones, la fonction cardiaque,...

Les acteurs principaux de ce domaine sont : le patient, le biologiste, l'infirmier, le chef de service (biologiste responsable), le staff administratif,...

4-1 Evaluation des besoins

Nous nous sommes basés principalement sur des documents techniques et textuels portant sur le domaine des analyses médicales comme sources d'informations pour obtenir les connaissances relatives au domaine, afin de pouvoir déterminer les termes les plus importants pour le domaine des analyses médicales comme : Laboratoire, Biologiste, Patient, Analyses médicales,...

4-2 Conceptualisation

Dans cette étape on distingue les activités suivantes :

4-2-1 Construction du glossaire des termes

Le glossaire décrit tous les termes qui sont utiles et potentiellement utilisables dans le domaine.

Terme	Description
Laboratoire	Est un lieu où sont prélevés et analysés divers fluides biologiques d'origine humaine sous la responsabilité des biologistes médicaux, qui en interprètent les résultats dans le but de participer au diagnostic et au suivi de certaines maladies.
Personne	Est un être humain qui fait partie de la communauté du domaine d'analyses médicales.
Biologiste	Est un spécialiste des sciences du vivant.
Patient	Est une personne recevant une attention médicale ou à qui est prodigué un soin.
Paramédicales	Personnes ne faisant pas partie des professions médicales, mais qui ont trait sur le plan technique ou administratif aux activités relatives à la santé.
Infirmier	Personne habitée à donner des soins sous prescription médicale.
Aide-soignant	Personne dont son activité se centre principalement sur l'aide aux personnes soignées dans l'incapacité d'assumer seules leurs besoins primaires mais également autour du maintien de l'hygiène.
Staff administratif	Personnes qui se préoccupent de la partie administrative du laboratoire.
Chef de service	Personne responsable sur le déroulement des activités relatives aux analyses médicales.

Agent d'accueil	Personne chargée de recevoir et d'orienter les patients.
Agent de saisie	Personne chargée des activités administratives
Analyses médicales	Est une spécialité médicale qui consiste en l'exécution d'analyses sur les liquides biologiques et en l'interprétation médicale des résultats dans le but de caractériser l'origine physiopathologique d'une maladie. On distingue différents analyses : signes vitaux, constituants chimique du sang, ...
Covid-19	Les coronavirus sont des virus à ARN fréquents, de la famille des Corona viridae, qui sont responsables d'infections digestives et respiratoires chez l'Homme et l'animal. Le virus doit son nom à l'apparence de ses particules virales, portant des excroissances qui évoquent une couronne. Les virions, qui sont constitués d'une capsidie recouverte d'une enveloppe, mesurent 80 à 150 nm de diamètre. Les petites sphères contiennent un acide ribonucléique (ARN) monocaténaire (avec une seule chaîne), linéaire (non-segmenté) et positif, comptabilisant 27 à 32 kilo bases. Cet ARN se réplique dans le cytoplasme de la cellule infectée.
Tests salivaires	Mené par un opérateur médical habilité par INOVIE (un groupe de laboratoires de biologie médicale) dans un laboratoire de biologie médicale ou de manière délocalisée par un biologiste médical, le test consiste à prélever moins d'1 mL de salive sur la langue du patient. Le prélèvement est ensuite déposé successivement dans deux tubes chauffés à 65°C. Une "lecture colorimétrique" via l'application "EasyCov Reader" permet de détecter l'ARN viral du SARS-CoV-2 : la couleur aide à savoir si la personne est positive au coronavirus ou non au moment du test. Le résultat et les données de santé du patient seront renvoyés en moins de 60 minutes après validation par un biologiste médical.
Tests PCR	Les tests PCR, pour <i>Polymerase Chain Reaction</i> ou réaction en chaîne par polymérase. Leur but est de détecter la présence du virus au moment où ils sont réalisés, c'est-à-dire que les patients pourront savoir s'ils sont infectés sur le moment. Ils consistent en un prélèvement naso-pharyngé par écouvillon : une sorte de grand coton-tige est inséré dans le nez du patient afin de prélever une certaine quantité de virus. L'échantillon est envoyé pour analyse dans un laboratoire. Bien que désagréable, il n'est pas invasif. Les résultats sont disponibles en quelques heures.
Tests sérologiques	Les tests sérologiques, ne permettent pas de détecter la présence du virus, mais plutôt celle d'anticorps au virus, c'est-à-dire que les patients pourront savoir s'ils ont déjà été en contact avec le virus.
Tests automatisables (ELISA)	fais en laboratoire de biologie médicale (ville ou hôpital) ; par un biologiste ; résultat en quelque heures
Tests unitaires	Goutte de sang ; résultat immédiat
TDR (test de diagnostique rapide)	fais en laboratoire de biologie médicale (ville ou hôpital) ; par un biologiste.
TROD (test rapide d'orientation diagnostique)	Fais en cabinet médicales ou en pharmacie par un professionnel de santé non biologiste

Autotests	Vendu en officine fais en tout lieu par le patient
ADN/ARN de virus	27-32 Kb L'acide désoxyribonucléique ou ADN est une macromolécule biologique présente dans toutes les cellules ainsi que chez de nombreux virus. L'ADN contient toute l'information génétique, appelée génome, permettant le développement, le fonctionnement et la reproduction des êtres vivants. C'est un acide nucléique, au même titre que l'acide ribonucléique (ARN).
Les anticorps neutralisants	Plages de référence et unités de mesure pour les tests individuels varient, tout comme la quantité d'anticorps détectables cela constitue un résultat positif. Les résultats peuvent être rapportés comme quantité d'anticorps détectée et si les valeurs sont prises en compte négatif, positif ou équivoque. Tube à capuchon rouge. <ul style="list-style-type: none"> ■ Les autoanticorps sont des protéines créées par le système immunitaire qui attaquent les propres tissus ou organes du corps. ■ Les auto-anticorps représentent une défaillance du système immunitaire faire la distinction entre les protéines étrangères et les protéines du corps tissus.
IgG	70% à 75%. IgG est une immunoglobuline produite par le système immunitaire pour assurer une protection contre le SRAS-CoV-2. une IgG anti-SARS-CoV-2 peut donc être détectée dans les échantillons des patients affectés.
IgM	>=10%. IgM est une immunoglobuline produite par le système immunitaire pour assurer une protection contre le SRAS-CoV-2. une IgM anti-SARS-CoV-2 peut donc être détectée dans les échantillons des patients affectés.
Signes vitaux	Indicateurs de la santé du patient tels que : la tension artérielle, fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, ...
Tension artérielle	Correspond à la pression du sang dans les artères. Elle est exprimée par deux mesures : Systolique, Diastolique
Systolique	Correspond à la pression maximale au moment de la contraction du cœur. Sa valeur normale entre : [90 - 130 mmHg]
Hyper-Systolique	Quand la pression maximale au moment de la contraction du cœur est entre : [140 – 180 mmHg]
Hypo-Systolique	Quand la pression maximale au moment de la contraction du cœur est : < 90 mmHg
Diastolique	Correspond à la pression minimale au moment du « relâchement » du cœur. Sa valeur normale est entre : [60 - 85 mmHg]
Hyper-Diastolique	Quand la pression minimale au moment du « relâchement » du cœur est entre : [90 -110 mmHg]
Hypo-Diastolique	Quand la pression minimale au moment du « relâchement » du cœur est : < 60 mmHg
Fréquence cardiaque	représente le nombre de battements cardiaques (ou pulsations) par unité de temps (généralement la minute). Sa valeur normale est entre :[70 – 90 battement par minute]
Bradycardie	Se caractérise par un rythme cardiaque trop bas par rapport à la normale. < 60 battements par minute
Tachycardie	La tachycardie correspond à un rythme cardiaque plus rapide que la normale. > 100 battements par minute.
Fréquence	Est le nombre de cycles respiratoires par minute. Sa valeur normale est entre :

respiratoire	[12 – 18 respirations par minute]
Bradypnée	Désigne une respiration ralentie. < 12 respirations par minute.
Tachypnée	Désigne une respiration accélérée. > 18 respirations par minute.
Température corporelle	Correspond à la température du corps humain. Sa valeur normal est entre : [36.5 – 37.5 °C]
Fièvre	Désigne une température corporelle élevée. > 37.5 °C
Hypothermie	Désigne une baisse anormale de la température corporelle. < 35 °C
Indice de masse corporelle (IMC)	Est une grandeur qui permet d'estimer la corpulence d'une personne. Sa valeur normale entre : [18.5 – 24.9 kg/m ²]
Insuffisance pondérale	Condition anormale des individus dont l'indice de masse corporelle est : < 18,5 kg/m ²
Obésité classe 1	Indice de masse corporelle entre : [30- 34.9 kg/m ²]
Obésité classe 2	Indice de masse corporelle entre : [35- 39.9 kg/m ²]
Obésité classe 3	Indice de masse corporelle > 40 kg/m ²
Constituants du sang	Désigne les constituants chimiques du sang tel que : le fer, la glycémie, acide urique
Acide folique	est une vitamine hydrosoluble. Sa valeur normale est entre : [7 – 36 nmol/L]
Acide lactique	Est un acide organique. Sa valeur normale est entre : [0,9 – 1,8 mmol/L]
Uricémie	Désigne le taux d'acide urique dans le sang. Sa valeur normale est entre : [40 – 70 Mlg/litre]
Albuminurie	La présence de protéines plasmatiques dans les urines. Sa valeur normale est : [35 – 50 g/L]
Amylasémie	Désigne le taux d'amylase dans le sang. Sa valeur normale est : < 160 U/L
Alcoolémie	Désigne la présence d'alcool dans le sang. Sa valeur normale est de < 0.25 mg/litre
Antigène prostatique spécifique	Est un enzyme protéique. Il peut être considéré comme un marqueur du cancer de la PROSTATE. Sa valeur normale est entre : [0 – 4 µg/L]
Bilirubine	Pigment provenant de la destruction de l'hémoglobine.
Bilirubine totale	Pigment provenant de la destruction de l'hémoglobine. Sa valeur est de : < 26µmol/L
Bilirubine conjuguée (directe)	Pigment provenant de la destruction de l'hémoglobine. Sa valeur est de : < 7µmol/L
Calcémie	Correspond au taux plasmatique de calcium. Sa valeur normale est entre : 2,2 et 2,6 mmol/l de plasma
Hypocalcémie	Caractérisé par la baisse anormale du taux de calcium dans le plasma. < 2,25mmol/litre de plasma
Hypercalcémie	Caractérisé par l'augmentation anormale du taux de calcium dans le plasma. > 2,6 mmol/l de plasma
Glycémie	Correspond à la présence de glucose dans le sang. Sa valeur normale est entre : [0.8 – 1.2 g/l]
Hypoglycémie	Est une concentration en sucre dans le sang anormalement basse. < 0.8 g/l
Hyperglycémie	Est une concentration en sucre dans le sang (glycémie) anormalement trop élevée. > 1.26 g/l
Cholestérolémie	Désigne le taux de cholestérol total sérique.
Cholestérol	Représente le taux du cholestérol dans le sang. Sa valeur normale est entre :

totale	[1.5 – 2.5 g/l]
Cholestérol LDL	Représente le taux du cholestérol transporté du foie vers les tissus. Il doit être : < 4.10 mmol/l
Cholestérol HDL	Représente le taux du cholestérol transporté des tissus vers le foie. Il doit être : > 1 mmol/l

Créatinine	Est un produit de dégradation du phosphate de créatine dans le muscle. Sa valeur est entre : 50 – 120 µmol/L
Triglycéride	Représente le taux de glycéride dans le sang. Sa valeur normale est entre : [0.4 - 2 mmol/l]
Paramètres hématologique	Désigne des paramètres sur les cellules sanguines tels que : globules rouge, globules blanc, coagulation
Globules rouge	Font partie des éléments figurés du sang.
Érythrocytes	Désigne le nombre des globules rouge dans le sang. Leurs valeur est entre : [4,0 – 5,7 X 10 ¹² /L]
Hématocrite	Est le pourcentage relatif du volume des cellules (globules rouges) circulant dans le sang par rapport au volume total du sang. Sa valeur normale est entre : [0,370 – 0,520]
Globules blanc	Font partie des éléments figurés du sang, jouent un rôle important au sein du système immunitaire.
Formule leucocytaire	Permet d'apprécier les éléments cellulaires du sang sous leur aspect qualitatif.
Neutrophiles	Sont des constituants cellulaires qui ont une affinité pour les colorants neutres. leurs valeur normale est entre : [2 – 7 X 10 ⁹ /L]
Lymphocytes	Sont des leucocytes qui ont un rôle majeur dans le système immunitaire. Leurs valeur normale est entre : [1,5 – 3,4 X 10 ⁹ /L]
Monocytes	Sont des leucocytes (globules blancs) qui évoluent en macrophages ou cellules dendritiques ou ostéoclastes. Leurs valeur normale est entre : [0,14 – 0,86 X 10 ⁹ /L]
Neutrophiles non segmentés	Sont des neutrophiles jeunes dont le noyau n'a pas encore subi de segmentation. Leurs valeur normale est : < 0,7 X 10 ⁹ /L
Éosinophiles	Sont des cellules sanguines de la lignée blanche, ayant donc un rôle dans le système immunitaire. Leurs valeur normale est : < 0,45 X 10 ⁹ /L
Coagulation	Est un processus complexe aboutissant à la formation de caillots sanguins.
Fibrinogène	Désigne le nombre de protéine du plasma sanguin qui se transforme en fibrine lors de la coagulation. Sa valeur normale est entre : [5,1 – 11,8 µmol/L]
Numération plaquettaire	Correspondent au nombre des cellules sanguines qui jouent un rôle important, notamment dans la coagulation sanguine, pour la formation de caillots. Leurs valeurs normales est entre : [130 – 400 X 10 ⁹ /L]
Plasminogène	Désigne le taux d'enzyme protéolytique. Sa valeur normale est entre : [0,75 – 140 %]

Temps de céphaline	Désigne le temps de coagulation d'un plasma sanguin recalcifié en présence de céphaline. Sa valeur normale est entre : [28 – 38 sec]
Temps de coagulation	Désigne le temps de coagulation. Sa valeur normale est entre : [5 – 15 min]

Temps de prothrombine	Désigne le temps que met le plasma sanguin (partie liquidienne du sang) à coaguler. Sa valeur normale est entre : [10 – 13 sec]
Temps de saignement	Correspond au temps mis par le sang pour arrêter de couler après une incision faite sur la peau. Sa valeur normale est : < 9 min
Temps de thrombine	Désigne le temps de coagulation du plasma sanguin en présence de thrombine. Sa valeur normale est entre : [14 – 16 sec]
Hormones	Sont des substances chimiques sécrétées par une glande endocrine.
Cortisolémie	Désigne le dosage de l'hormone du cortisol dans le sang. Sa valeur normale est entre : [83 – 607 nmol/L]
Glucagonémie	Désigne la présence de l'hormone du glucagon dans le sang. Sa valeur normale est entre : [50 – 200 ng/L]
Somatropine	Correspond à la présence de l'hormone de croissance. Sa valeur normale est : < 8 µg/L
FSH	Désigne la présence de l'hormone folliculostimulante. Sa valeur normale est entre : [2 – 12 IU/L]
PTH	Désigne la présence de l'hormone parathyroïdienne. Sa valeur normale est entre : [1,2 – 5,8 pmol/L]
Insulinémie	Correspond au taux d'insuline dans le sang. Sa valeur normale est entre : [36 – 179 pmol/L]
Prolactine	Désigne le dosage de l'hormone de prolactine dans le sang. Sa valeur normale est : < 1,29 nmol/L
Testostérone	Désigne le taux de l'hormone de testostérone dans le sang. Sa valeur normale est entre : [6,7 – 28,9 nmol/L]
Triiodothyronine (T3)	Désigne le taux de l'hormone thyroïdienne. Sa valeur normale est entre : [3,5 – 6,5 pmol/L]
LDH	Désigne le nombre de lactate deshydrogénase. Sa valeur normale est entre : [100 – 350 UI/L]
TSH	Désigne le taux de l'hormone de thyroestimuline dans le sang. Sa valeur normale est entre : [0.2 – 4 mUI/L]
Troponine	Correspond au taux de protéine du cœur. Sa valeur normale est : < 0.6 microgramme/L
ASAT	Désigne le nombre d'Aspartate Amino transféré. Sa valeur normale est entre : [10 – 30 UI/L]
ALAT	Désigne le nombre d'Alanine Amino transféré. Sa valeur normale est entre : [11 – 40 UI/L]
CPK	Désigne le taux de la créatine phosphokinase. Sa valeur normale est entre : [10 – 200 UI/L]
La fonction cardiaque	Consiste à envoyer une quantité de sang adaptée en permanence à l'ensemble de l'organisme en fonction de ses besoins.

Tableau 3. 1 : Glossaire de termes.

4-2-2_Construction du dictionnaire des concepts précis

Nom du concept	Concepts synonymes	Attributs	Instances
Laboratoire	-	-Nom -Adresse -Email -Tel	- OUAMANE -ELHAYATE
Personne	Humain	-Nom -Prénom -Sexe - Tel	- Djader Ahmed - Bouras Imane
Biologiste	-	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Adresse personnel -Email -Tel	- Ben Nacer Ali - Othmani Moussa
Patient	Malade	-Nom -Prénom -Age -Sexe -Adresse -Tel	- Boudjamaa Noura - Bhima Mounir
Paramédical	-	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Adresse personnel -Email -Tel	-Makhloufi Ali - didouh farid
Infirmier	Soignant	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Adresse personnel -Email -Tel	- Ginifi Ahmed - Boudjemaa Manal
Aide-soignant	Aide-infirmier	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Adresse personnel -Email -Tel	- Latreche Fatiha - Othmani Houda
Staff admiratif	-	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Email	-Lemhar Karim - Bounab Moussa

		-Tel	
Chef de service	Responsable	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Email -Tel	- Abdou Hichem - Houhou Farid
Agent d'accueil	-	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Email -Tel	- Lemhar Karim - Rerfid Amel
Agent de saisie	-	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Email -Tel	- Moulahem Said - Chennef Fatima
Analyses médicales	Bilan de santé	-	-
Covid-19	-SARS-CoV-2 -Pandémie de Coronavirus	-	-
Test Salivaires	-	-	-
Test PCR	-Les tests virologiques -tests nasopharyngés	-	-
Test Sérologiques	-Prises de sang	-	-
Anticorps	- Les antigènes	-	-
Signes vitaux	Indices de santé	-	-
Tension artérielle	Pression du sang	-	-
Constituants du sang	Composants	-	-
Cholestérolémie	-	-	-
Paramètres hématologique	Cellules sanguines	-	-
Globules rouge	-	-	-
Globules blanc	-	-	-
Formule leucocytaire	-	-	-
Coagulation	-	-	-

Hormones	-	-	-
La fonction cardiaque	-	-	-

Tableau 3. 2 : Dictionnaire des concepts précis.

4-2-3_Construction du dictionnaire des concepts flous

Le dictionnaire des concepts flous contient les concepts flous du domaine, leurs synonymes, Leurs attributs, les instances avec leurs degrés d'appartenance.

Nom du concept	Concepts synonymes	Attributs	Instances	Degré d'appartenance
ADN/ARN de virus	Génome	Taille de génome	- 29 Kb	1
IgG	-	Taux des anticorps	-72%	-0.72
IgM	-	Taux des anticorps	-10%	-0.1
Systolique_Normale	Pression maximale	Valeur de la systolique	- 100 mmHg	1
Hyper-Systolique	-	Valeur de la systolique	- 128 mmHg	0.8
Hypo-Systolique	-	Valeur de la systolique	- 78 mmHg	1
Diastolique_Normale	Pression minimale	Valeur de la diastolique	- 70 mmHg	1
Hyper-Diastolique	-	Valeur de la diastolique	- 110 mmHg	1
Hypo-Diastolique	-	Valeur de la diastolique	- 45 mmHg	1
Température corporelle_Normale	-	Valeur de la température	- 36.4 °C	0.8
Fièvre	Hyperthermie	Valeur de la température	- 37.9 °C	0.25
Hypothermie	-	Valeur de la température	- 34.5 °C	1
IMC_Normal	Corpulence	Taux de corpulence	- 20 kg/m2	0.93
Obésité classe1	Grosueur	Taux de corpulence	- 32.9 kg/m2	1
Obésité classe3	Grosueur	Taux de corpulence	- 40 kg/m2	0.1
Uricémie_Normale	-	Taux d'acide urique	- 46 Mlg/litre	0.85
Albuminurie_Normale	-	Taux de protéines plasmatique	- 41 g/L	1

Calcémie_Normale	-	Taux du calcium	- 2,4 mmol/l	1
Hypocalcémie	-	Taux du calcium	- 1.8 mmol/litre	1
Hypercalcémie	-	Taux du calcium	- 2.59 mmol/l	0.9
Glycémie_Normale	-	Taux du glucose	- 1 g/l	1
Hypoglycémie	-	Taux du glucose	- 0.6 g/l	1
Hyperglycémie	-	Taux du glucose	- 1.5 g/l	1
Cholestérol_totale_Normal	-	Taux du cholestérol	- 2.2 g/l	1
Cholestérol_LDL_Normal	-	Taux du cholestérol	- 3.10 mmol/l	1
Cholestérol_HDL_Normal	-	Taux du cholestérol	- 2 mmol/l	0.5
Hématocrite_Normale	-	Volume des globules rouges	- 0,410	1
Neutrophile_Normale	-	Valeur des colorants neutres	- 2.8 X 10 ⁹ /L	0.8
Fibrinogène_Normale	-	Nombre de protéine du plasma	- 6,8 µmol/L	1
Temps de coagulation_Normal	-	Temps de coagulation	- 13.2 min	0.72
Temps de saignement_Normal	Hémorragie	Temps de saignement	- 5 min	1
Cortisolémie_Normale	-	Dosage de cortisol	- 207 nmol/L	0.94
Insulinémie_Normale	-	Taux d'insuline	- 69 pmol/L	0.91
TSH_Normale	-	Taux de l'hormone de thyroestimuline	- 2 mUI/L	1
ASAT_Normale	-	Nombre d'Aspartate Amino transféré	- 20 UI/L	1
CPK_Normale	-	Taux de la créatine phosphokinase	- 160 UI/L	0.88
LDH_Normal	-	Nombre de lactate deshydrogénase	- 200 UI/L	1
.....

Tableau 3. 3 : Dictionnaire des concepts flous.

4-2-4_Construction de la hiérarchie de concepts

Cette étape consiste à organiser les concepts sous forme d'une taxonomie.

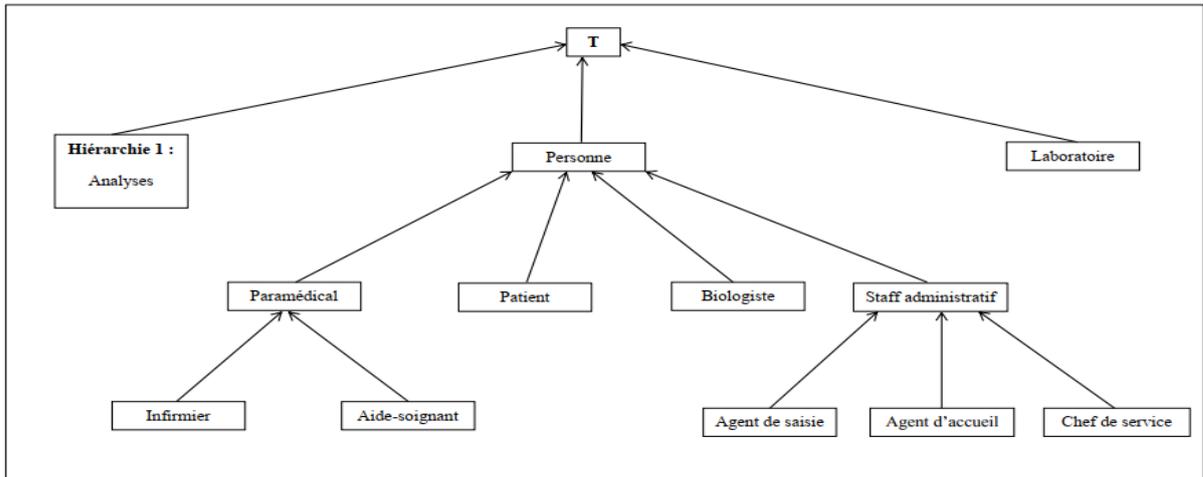


Figure 3.4 : Hiérarchie de concepts.

La Figure 3.5 Montre la hiérarchie de concept Covid -19.

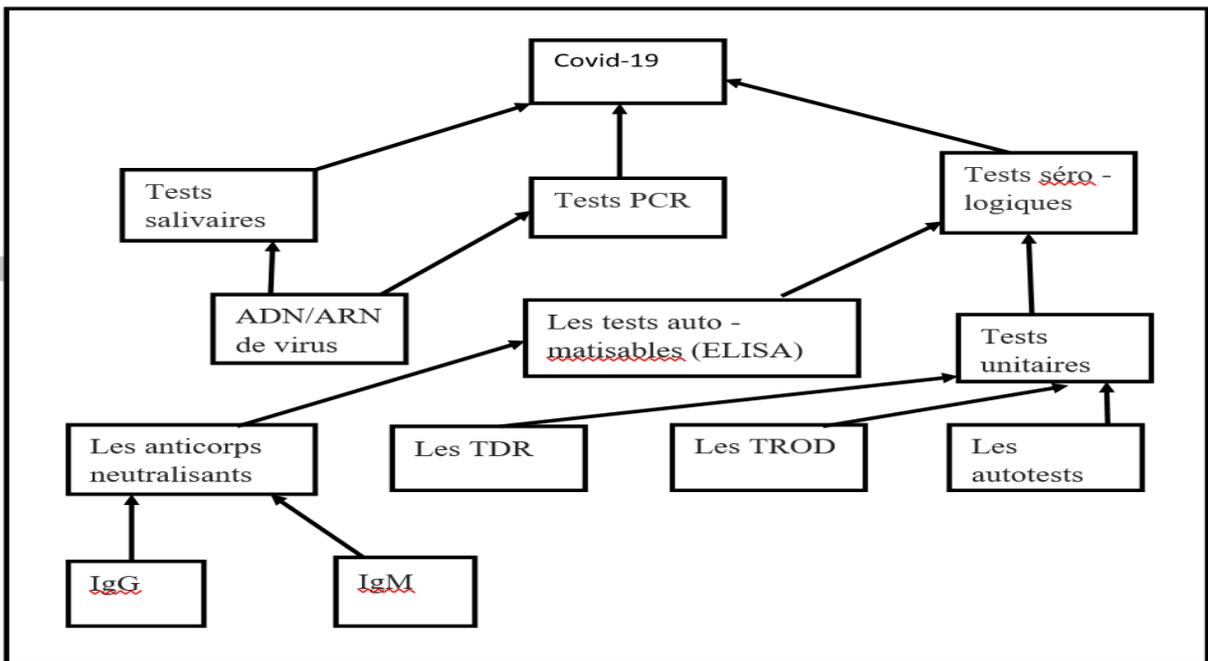


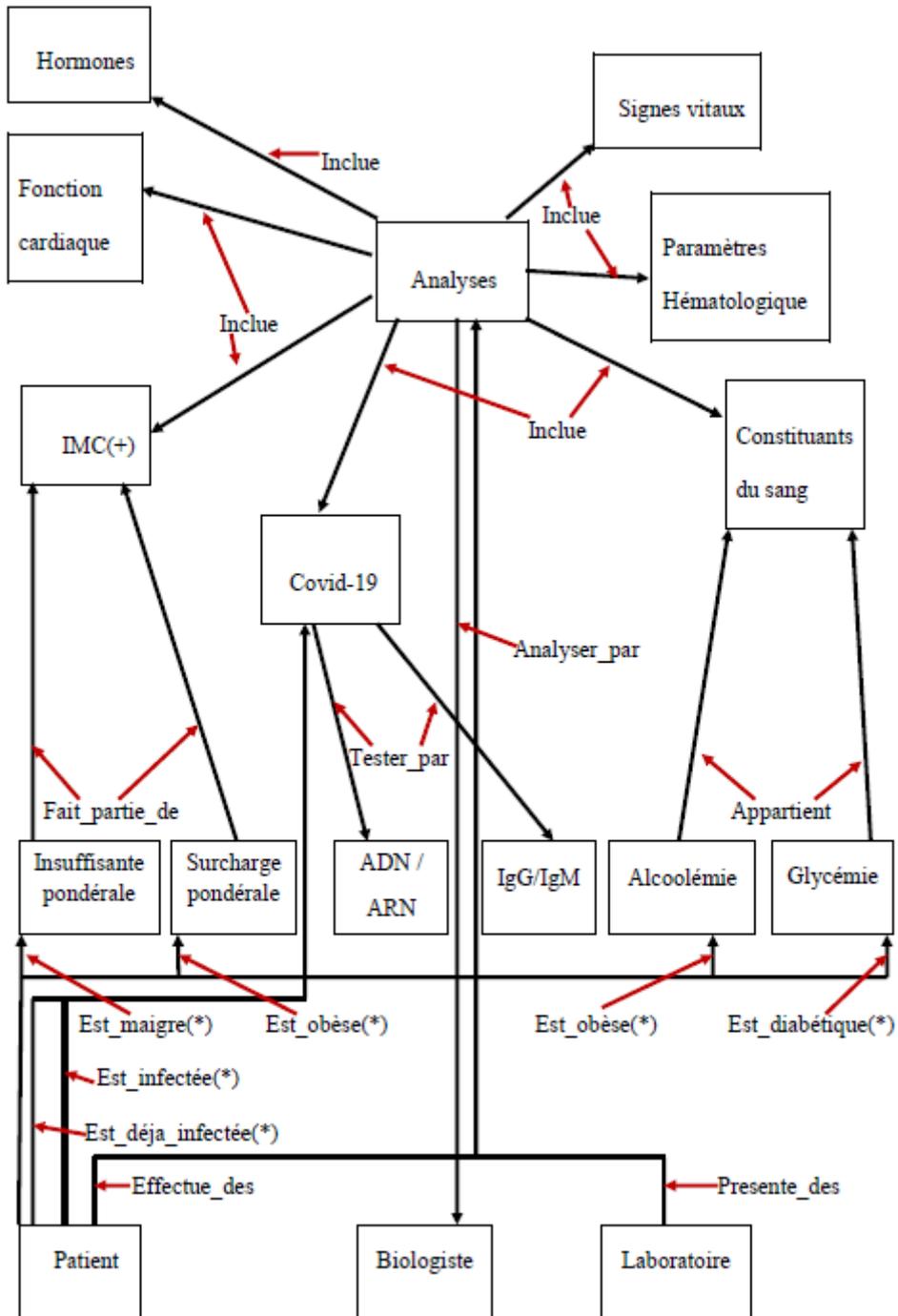
Figure 3.5 : Hiérarchie de concept de Covid-19.

Et voici la hiérarchie détaillée de tous les concepts :

<p>Hiérarchie 1 : Analyses</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. Analyses 1.1. Hormones (Hiérarchie 2) 1.2. Indice de masse corporelle (Hiérarchie 3) <ul style="list-style-type: none"> 1.3. Signes vitaux (Hiérarchie 4) 1.4. La fonction cardiaque (Hiérarchie 5) 1.5. Constituants du sang (Hiérarchie 6) 1.6. Covid-19 (Hiérarchie 7) 1.7. Paramètres hématologiques (Hiérarchie 8) 	<p>Hiérarchie 2 : Hormones</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.5. Hormones <ul style="list-style-type: none"> 1.5.1. Cortisolémie 1.5.2. Glucagonémie 1.5.3. Somatropine 1.5.4. FSH 1.5.5. PTH 1.5.6. Insulinémie 1.5.7. Prolactine 1.5.8. Testostérone 1.5.9. Triiodothyronine (T3) 1.5.10. TSH
<p>Hiérarchie 3 : Indice de masse corporelle</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.2. Indice de masse corporelle <ul style="list-style-type: none"> 1.2.1. Insuffisance pondérale 1.2.2. Surcharge pondérale 1.2.3. Obésité class 1 1.2.4. Obésité class 2 1.2.5. Obésité class 3 	<p>Hiérarchie 4 : Signes vitaux</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.1. Signes vitaux <ul style="list-style-type: none"> 1.1.1. Tension artérielle <ul style="list-style-type: none"> 1.1.1.1. Systolique <ul style="list-style-type: none"> 1.1.1.1.1. Hyper-Systolique 1.1.1.1.2. Hypo-Systolique 1.1.1.2. Diastolique <ul style="list-style-type: none"> 1.1.1.2.1. Hyper-Diastolique 1.1.1.2.2. Hypo-Diastolique 1.1.2. Fréquence cardiaque <ul style="list-style-type: none"> 1.1.2.1. Bradycardie 1.1.2.2. Tachycardie 1.1.3. Fréquence respiratoire <ul style="list-style-type: none"> 1.1.3.1. Bradypnée 1.1.3.2. Tachypnée 1.1.4. Température corporelle <ul style="list-style-type: none"> 1.1.4.1. Fièvre 1.1.4.2. Hypothermie
<p>Hiérarchie 6 : Constituants du sang</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.3. Constituants du sang <ul style="list-style-type: none"> 1.3.1. Acide folique (folates) 1.3.2. Acide lactique (Lactates) 1.3.3. Uricémie 1.3.4. Albuminurie 1.3.5. Amylasémie 1.3.6. Alcoolemie 1.3.7. Antigène prostatique spécifique 1.3.8. Bilirubine <ul style="list-style-type: none"> 1.3.8.1. Bilirubine totale 1.3.8.2. Bilirubine conjuguée (directe) 1.3.9. Calcémie <ul style="list-style-type: none"> 1.3.9.1. Hypocalcémie 1.3.9.2. Hypercalcémie 1.3.10. Cholestérolémie <ul style="list-style-type: none"> 1.3.10.1. Cholestérol totale 1.3.10.2. Cholestérol LDL 1.3.10.3. Cholestérol HDL 1.3.11. Créatinine 1.3.12. Glycémie <ul style="list-style-type: none"> 1.3.12.1. Hyperglycémie 1.3.12.2. Hypoglycémie 	<p>Hiérarchie 5 : Fonction cardiaque</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.6. La fonction cardiaque <ul style="list-style-type: none"> 1.6.1. ASAT 1.6.2. ALAT 1.6.3. CPK 1.6.4. Troponine 1.6.5. LDH

1.3.13. Triglycérides	
Hiérarchie 7 : Covid-19 1.7.Covid-19 1.7.1. Tests salivaires 1.7.1.1. ADN/ARN de virus 1.7.2. Tests PCR 1.7.2.1. ADN/ARN de virus 1.7.3. Tests sérologiques 1.7.3.1. Les tests automatisables (ELISA) 1.7.3.1.1. Les anticorps neutralisants 1.7.3.1.1.1. IgG 1.7.3.1.1.2. IgM 1.7.3.2. Tests unitaires 1.7.3.2.1. Les TDR 1.7.3.2.2. Les TROD 1.7.3.2.3. Les autotests	Hiérarchie 8 : Paramètres hématologique 1.4. Paramètres hématologiques 1.4.1. Globules rouges 1.4.1.1.Érythrocytes 1.4.1.2.Hématocrite 1.4.2. Globules blanc 1.4.2.1.Formule leucocytaire 1.4.2.1.1. Neutrophiles 1.4.2.1.2. Lymphocytes 1.4.2.1.3. Monocytes 1.4.2.1.4. Neutrophiles non segmentés 1.4.2.1.5. Éosinophiles 1.4.3. Coagulation 1.4.3.1.Fibrinogène 1.4.3.2.Numération plaquettaire 1.4.3.3.Plasminogène 1.4.3.4.Temps de céphaline 1.4.3.5.Temps de coagulation 1.4.3.6.Temps de prothrombine 1.4.3.7.Temps de saignement 1.4.3.8.Temps de thrombine

4-2-5_Construction du diagramme de relations binaires (Précises et floues)



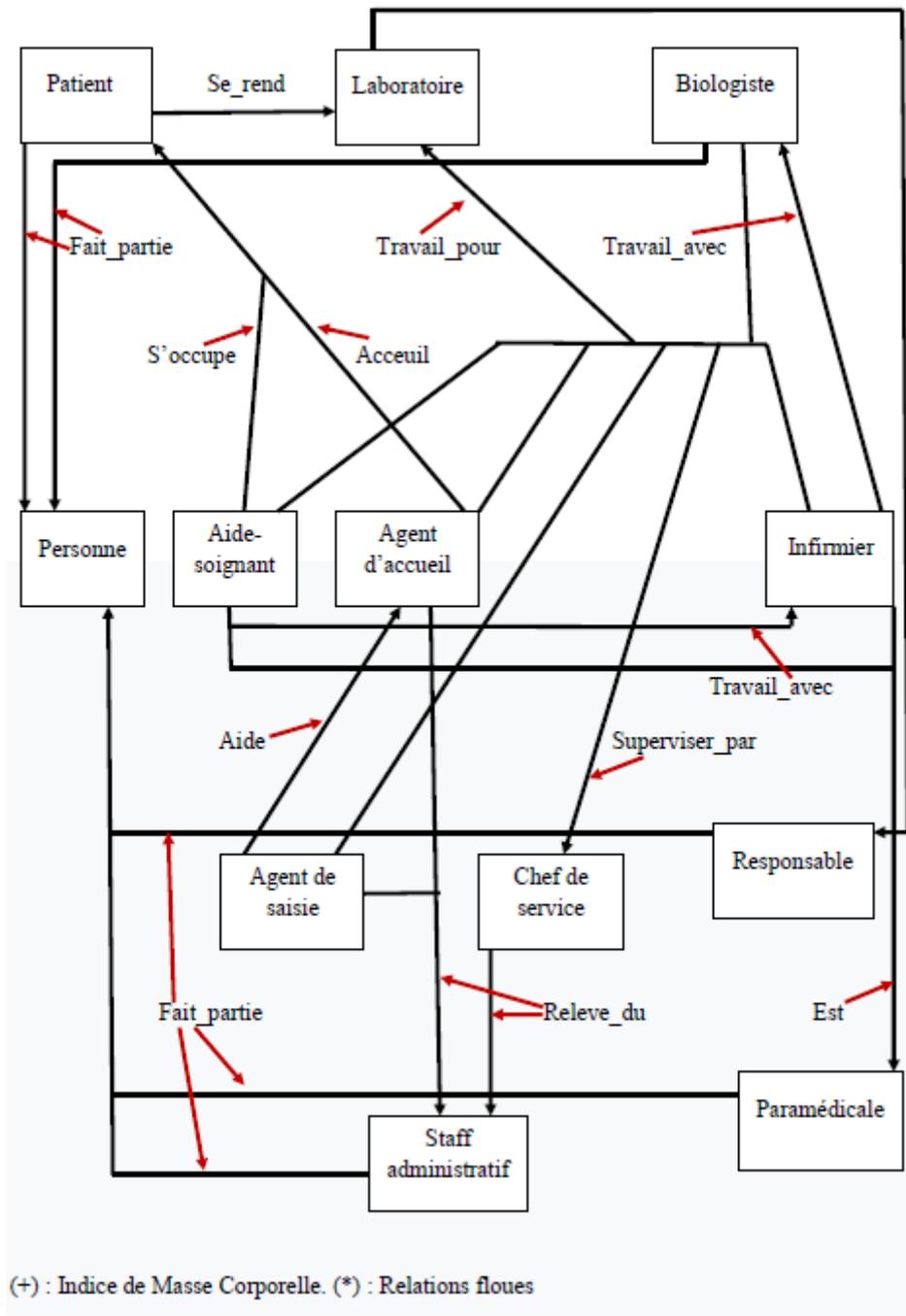


Figure 3.6 : diagramme permet de représenter les différentes relations qui existent entre les divers concepts.

4-2-6 Table des relations binaires (Précises et floues)

La table des relations binaires définie pour chaque relation utilisé dans le diagramme des relations binaires, le nom de la relation, le type de la relation, les concepts sources et cibles, la cardinalité source et cible et le nom de la relation inverse.

Nom de la relation	Type de relation	Concept source	Cardinalité source	Concept cible	Cardinalité cible	Relation inverse
Tester_par	Précise	Covid-19	(1, n)	IgG/IgM	(1, n)	Tester_pour
Tester_par	Précise	Covid-19	(1, n)	ADN/ARN	(1, n)	Tester_pour
Est_déjà_infecté_e	Floue	Patient	(1, n)	Covid-19	(1, n)	Déjà_existe
Est_infectée	Floue	Patient	(1, 1)	Covid-19	(1, 1)	Existe
Fait_partie	Précise	Patient	(1, 1)	Personne	(1, 1)	-
Fait_partie	Précise	Biologiste	(1, 1)	Personne	(1, 1)	-
Fait_partie	Précise	Paramédical	(1, 1)	Personne	(1, 1)	-
Fait_partie	Précise	Staff administratif	(1, 1)	Personne	(1, 1)	-
Fait_partie	Précise	Responsable	(1, 1)	Personne	(1, 1)	-
Est	Précise	Infirmier	(1, 1)	Paramédical	(1, 1)	-
Est	Précise	Aide-soignant	(1, 1)	Paramédical	(1, 1)	-
Relève_du	Précise	Chef de service	(1, 1)	Staff administratif	(1, n)	Constitué_de
Relève_du	Précise	Agent d'accueil	(1, 1)	Staff administratif	(1, n)	Constitué_de
Relève_du	Précise	Agent de saisie	(1, 1)	Staff administratif	(1, n)	Constitué_de
Supervisé_par	Précise	Biologiste	(1, 1)	Chef de service	(1, n)	Supervise
Supervisé_par	Précise	Infirmier	(1, 1)	Chef de service	(1, n)	Supervise
Supervisé_par	Précise	Aide-soignant	(1, 1)	Chef de service	(1, n)	Supervise
Supervisé_par	Précise	Agent d'accueil	(1, 1)	Chef de service	(1, n)	Supervise
Supervisé_par	Précise	Agent de saisie	(1, 1)	Chef de service	(1, n)	Supervise
Travaille_pour	Précise	Biologiste	(1, 1)	Laboratoire	(1, n)	Emploi
Travaille_pour	Précise	Infirmier	(1, 1)	Laboratoire	(1, n)	Emploi
Travaille_pour	Précise	Aide-soignant	(1, 1)	Laboratoire	(1, n)	Emploi
Travaille_pour	Précise	Chef de service	(1, 1)	Laboratoire	(1, n)	Emploi
Travaille_pour	Précise	Agent d'accueil	(1, 1)	Laboratoire	(1, n)	Emploi
Travaille_pour	Précise	Agent de saisie	(1, 1)	Laboratoire	(1, n)	Emploi
Collabore_avec	Précise	Infirmier	(1, n)	Biologiste	(1, n)	-
Travaille_avec	Précise	Aide-soignant	(1, n)	Infirmier	(1, n)	-
Aide	Précise	Agent de saisie	(1, n)	Agent	(1, n)	-

				d'accueil		
Se_rend	Précise	Patient	(1, 1)	Laboratoire	(1, n)	Reçoit
S'occupe	Précise	Aide-soignant	(1, n)	Patient	(1, 1)	-
Accueil	Précise	Agent d'accueil	(1, n)	Patient	(1, 1)	Est_accueilli
Effectue_des	Précise	Patient	(1, n)	Analyses	(1, 1)	Effectué_par
Analyser_par	Précise	Analyses	(1, n)	Biologiste	(1, n)	Analyses_des
Inclue	Précise	Analyses	(1, n)	Covid-19	(1, 1)	Sont_inclus
Inclue	Précise	Analyses	(1, n)	Signes vitaux	(1, 1)	Sont_inclus
Inclue	Précise	Analyses	(1, n)	Hormones	(1, 1)	Sont_inclus
Inclue	Précise	Analyses	(1, n)	Paramètres hématologique	(1, 1)	Sont_inclus
Inclue	Précise	Analyses	(1, n)	Fonction cardiaque	(1, 1)	Sont_inclus
Inclue	Précise	Analyses	(1, n)	IMC	(1, 1)	Sont_inclus
Inclue	Précise	Analyses	(1, n)	Constituants du sang	(1, 1)	Sont_inclus
Appartient	Précise	Glycémie	(1, 1)	Constituants du sang	(1, 1)	-
Appartient	Précise	Alcoolémie	(1, 1)	Constituants du sang	(1, 1)	-
Fait_partie_de	Précise	Insuffisance pondérale	(1, 1)	IMC	(1, 1)	-
Fait_partie_de	Précise	Surcharge pondérale	(1, 1)	IMC	(1, 1)	-
Est_diabétique	Floue	Patient	(1, 1)	Hyperglycémie	(1, n)	-
Est_alcoolique	Floue	Patient	(1, 1)	Alcoolémie_Elevée	(1, n)	-
Est_obèse	Floue	Patient	(1, 1)	Surcharge pondérale	(1, n)	-
Est_maigre	Floue	Patient	(1, 1)	Insuffisance pondérale	(1, n)	-
Est_hyperSystolique	Floue	Patient	(1, 1)	Hyper-Systolique	(1, n)	-
Est_hypoSystolique	Floue	Patient	(1, 1)	Hypo-Systolique	(1, n)	-
Est_hyperDiastolique	Floue	Patient	(1, 1)	Hyper-Diastolique	(1, n)	-
Est_hypoDiastolique	Floue	Patient	(1, 1)	Hypo-Diastolique	(1, n)	-
Atteint_une	Floue	Patient	(1, 1)	Bradycardie	(1, n)	Est_atteinte
Atteint_une	Floue	Patient	(1, 1)	Tachycardie	(1, n)	Est_atteinte
Atteint_une	Floue	Patient	(1, 1)	Bradypnée	(1, n)	Est_atteinte
Atteint_une	Floue	Patient	(1, 1)	Tachypnée	(1, n)	Est_atteinte

Est_hyperthermique	Floue	Patient	(1, 1)	Fièvre	(1, n)	-
Est_hypothermique	Floue	Patient	(1, 1)	Hypothermie	(1, n)	-
Atteint_une	Floue	Patient	(1, 1)	Hypocalcémie	(1, n)	Est_atteinte
Atteint_une	Floue	Patient	(1, 1)	Hypercalcémie	(1, n)	Est_atteinte
Est_hypoglycémique	Floue	Patient	(1, 1)	Hypoglycémie	(1, n)	-
Atteint	Floue	Patient	(1, 1)	Cortisolémie	(1, n)	Atteinte
Atteint	Floue	Patient	(1, 1)	Insulinémie_Elevée	(1, n)	Atteinte
Atteint	Floue	Patient	(1, 1)	TSH_Elevée	(1, n)	Atteinte
Gérer_par	Précise	Laboratoire	(1, 1)	Responsable	(1, 1)	Gère
Présente_des	Précise	Laboratoire	(1, n)	Analyses	(1, 1)	Présenté_dans

Tableau 3. 4 : Table des relations binaires (Précises et floues).

4-2-7_Table des attributs

Permet de spécifier les contraintes des différents attributs.

Nom de l'attribut	Type	Cardinalité (Min/Max)	Valeur par défaut	Domaine des valeurs
Nom	Littéral	(1, 1)	-	-
Prénom	Littéral	(1, 1)	-	-
Sexe	Littéral	(1, 1)	-	(Masculin, Féminin)
Age	Entier	(1, 1)	-	-
Adresse professionnel	Littéral	(1, 1)	-	-
Adresse personnel	Littéral	(1, 1)	-	-
Adresse	Littéral	(1, 1)	-	-
Tél	Littéral	(1, n)	-	-
Fax	Littéral	(1, n)	-	-
Email	Littéral	(1, n)	-	-
Site Web	Littéral	(0, 1)	-	-
Taille de génome	Real	(1, 1)	-	-
Taux des anticorps	Real	(1, 1)	-	-
Valeur de la diastolique	Real	(1, 1)	-	-
Valeur de la température	Real	(1, 1)	-	-
Taux de corpulence	Real	(1, 1)	-	-

Taux acide urique	Real	(1, 1)	-	-
Taux de protéine plasmatique	Real	(1, 1)	-	-
Taux du calcium	Real	(1, 1)	-	-
Taux du glucose	Real	(1, 1)	-	-
Taux du cholestérol	Real	(1, 1)	-	-
Volume des globules rouges	Real	(1, 1)	-	-
Valeur des colorants neutres	Real	(1, 1)	-	-
Nombre de protéine du plasma	Real	(1, 1)	-	-
Dosage de cortisol	Real	(1, 1)	-	-
Taux d'insuline	Real	(1, 1)	-	-
Taux de l'hormone de thyroïdostimuline	Real	(1, 1)	-	-
Nombre d'Aspartate Amino transféré	Real	(1, 1)	-	-
Taux de la créatinine phosphokinase	Real	(1, 1)	-	-
Nombre de lactate deshydrogénase	Real	(1, 1)	-	-
Temps de coagulation	Entier	(1, 1)	-	-
Temps de saignement	Entier	(1, 1)	-	-
.....

Tableau 3. 5 : Table des attributs.

4-2-8 Table des axiomes logiques

Elle définit les concepts au moyen des expressions logiques.

Nom du concept	Description	Expression logique
Laboratoire	Est un lieu où sont prélevés et analysés divers fluides biologiques d'origine humaine. Il est constitué de : Biologiste, Paramédical, Staff administratif, Analyses, Patient,...	$\forall(X), \text{Laboratoire}(X) \Rightarrow \exists A, B, C, D, E / \text{Biologiste}(A) \wedge \text{Paramédical}(B) \wedge \text{Staff administratif}(C) \wedge \text{Patient}(D) \wedge \text{Analyses}(E)$
Personne	Est un être humain qui fait partie de la communauté du domaine des analyses médicales. Peut-être un Biologiste, Infirmier, Aide-soignant, Patient, Chef de service, Responsable, Agent d'accueil, Agent de saisie,...	$\forall(X), \text{Personne}(X) \Rightarrow \text{Biologiste}(X) \wedge \text{Infirmier}(X) \wedge \text{Aide-soignant}(X) \wedge \text{Patient}(X) \wedge \text{Chef de service}(X) \wedge \text{Responsable}(X) \wedge \text{Agent}$

		$d'accueil(X) \wedge Agent\ de\ saisie(X)$
Biologiste	Est un spécialiste des sciences du vivant.	$\forall(X), Biologiste(X) \Rightarrow Spécialiste\ sciences\ vivant(X)$
Patient	Est une personne recevant une attention médicale ou à qui sont prodigués des analyses médicales.	$\exists(X), Personne(X) \Rightarrow Analyses(X)$
Paramédical	Personnes ne faisant pas partie des professions médicales, mais qui ont trait sur le plan technique ou administratif aux activités relatives à la santé. Peut-être soit : infirmier soit aide-soignant.	$\forall(X), Paramédical(X) \Rightarrow Infirmier(X) \wedge Aide-soignant(X)$
Staff administratif	Personnes qui se préoccupent de la partie administrative du laboratoire. Peuvent être : chef de service, agent d'accueil, agent de saisie	$\forall(X), Staff\ administratif(X) \Rightarrow Chef\ de\ service(X) \wedge Agent\ d'accueil(X) \wedge Agent\ de\ saisie(X)$
Analyses médicales	Est une spécialité médicale qui consiste en l'exécution d'analyses sur les liquides biologiques. Constitués de : Signes vitaux, Constituants du sang, Indice de masse corporelle,...	$\forall(X), Analyses(X) \Rightarrow Signes\ vitaux(X) \vee Constituants\ du\ sang(X) \vee IMC(X) \vee Hormones(X) \vee Paramètres\ hématologique(X) \vee Fonction\ cardiaque(X) \vee Covid-19(X)$
Covid-19	C'est une maladie qui se révèle par analyse de 3 manières, exprimée par: ADN / ARN, anticorps.	$\forall(X), Covid-19(X) \Rightarrow ADN/ARN(X) \vee IgG/IgM(X)$
Signes vitaux	Indicateurs de la santé du patient tels que : la tension artérielle, fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, ...	$\forall(X), Signes\ vitaux(X) \Rightarrow Tension\ artérielle(X) \vee Fréquence\ cardiaque(X) \vee Fréquence\ respiratoire(X) \vee Température\ corporelle(X)$
Tension artérielle	Correspond à la pression du sang dans les artères. Elle est exprimée par deux mesures : Systolique, Diastolique	$\forall(X), Tension\ artérielle(X) \Rightarrow Systolique(X) \wedge Diastolique(X)$
Systolique_Normale	Correspond à la pression maximale au moment de la contraction du cœur. Sa fonction d'appartenance est : $S_N(90, 100, 120, 130)$	<ul style="list-style-type: none"> - $S_N(Valeur) = 1$ si $Valeur \in [100 - 120[$ - $S_N(Valeur) = (Valeur - 90) / (100 - 90)$ si $Valeur \in [90 - 100 [$ - $S_N(Valeur) = (130 - Valeur) / (130 - 120)$ si $Valeur \in [120 - 130 [$ - $S_N(Valeur) = 0$ ailleurs
Hyper-Systolique	Quand la pression maximale au moment de la contraction du cœur est entre : $] 140 - 180\ mmHg [$ Sa fonction d'appartenance est : $H_S(120, 130, 180)$	<ul style="list-style-type: none"> - $H_S(Valeur) = 1$ si $Valeur \in] 130 - 180[$ - $H_S(Valeur) = (Valeur - 120) / (130 - 120)$ si $Valeur \in [120 - 130 [$ - $H_S(Valeur) = 0$ ailleurs
Fréquence cardiaque	Représente le nombre de battements cardiaques (ou pulsations) par unité de temps. Peut-être : une Bradycardie, une	$\forall(X), Fréquence\ cardiaque(X) \Rightarrow Bradycardie(X)$

	Tachycardie ou une fréquence cardiaque normale.	\wedge Tachycardie(X) \wedge Normale(X)
Fréquence cardiaque_Normale	représente le nombre de battements cardiaques (ou pulsations) par unité de temps (généralement la minute). Sa fonction d'appartenance est : FCN (60, 70, 90, 100)	- FCN(Valeur) =1 si Valeur \in [70 - 90[- FCN(Valeur) = (Valeur - 60) / (70 - 60) si Valeur \in [60 - 70[- FCN(Valeur) = (100 - Valeur) / (100 - 90) si Valeur \in [90 - 100] - FCN(Valeur) = 0 ailleurs
Fréquence respiratoire	Est le nombre de cycles respiratoires par minute. Elle est soit une Bradypnée soit une Tachypnée soit une fréquence respiratoire normale.	\forall (X), Fréquence respiratoire(X) \Rightarrow Bradypnée(X) \wedge Tachypnée(X) \wedge Normale(X)
Température corporelle	Correspond à la température du corps. Peut-être : une fièvre, une hypothermie ou une température normale.	\forall (X), Température corporelle(X) \Rightarrow Fièvre(X) \wedge Hypothermie(X) \wedge Normale(X)
Hypothermie	Désigne une baisse anormale de la température corporelle. < 35 °C Sa fonction d'appartenance est : Hypo_ther (34, 36, 36.5)	- Hypo_ther(Valeur) = 1 si Valeur \in [34 - 36][- Hypo_ther(Valeur) = (36.5 - Valeur) / (36.5 - 36) si Valeur \in [36 - 36.5] - Hypo_ther(Valeur) = 0 ailleurs
Indice de masse corporelle	Est une grandeur qui permet d'estimer la corpulence d'une personne. Insuffisance pondérale, surcharge pondérale, obésité classe1, obésité classe2, obésité classe3 ou IMC normal	\forall (X), IMC(X) \Rightarrow Insuffisance pondérale(X) \wedge Surcharge pondérale(X) \wedge obésité classe1(X) \wedge obésité classe2(X) \wedge obésité classe3(X) \wedge IMC normal(X)
Constituants du sang	Désigne les constituants chimiques du sang tel que : le fer, la glycémie, acide urique, calcémie,...	\forall (X), Constituants du sang(X) \Rightarrow Glycémie(X) \wedge Calcémie (X) \wedge Uricémie(X) \wedge ... (X)
Calcémie	Correspond au taux plasmatique de calcium. On distingue : Hypocalcémie, Hypercalcémie, Calcémie normale.	\forall (X), Calcémie(X) \Rightarrow Hypocalcémie(X) \wedge Hypercalcémie(X) \wedge Normale(X)
Glycémie	Correspond à la présence de glucose dans le sang. Peut-être : une Hypoglycémie, une Hyperglycémie ou une glycémie normale	\forall (X), Glycémie(X) \Rightarrow Hypoglycémie(X) \wedge Hyperglycémie(X) \wedge Normale(X)

Glycémie_Normale	Correspond à la présence de glucose dans le sang. Sa fonction d'appartenance est :Gly_Nor (0.8, 0.9, 1.1, 1.2)	- Gly_Nor(Taux) = 1 Si Taux ∈ [0.9 – 1.1 g/l] - Gly_Nor(Taux) = (Taux – 0.8) / (0.9 – 0.8) Si Taux ∈ [0.8 – 0.9 g/l] - Gly_Nor(Taux) = (1.2 – Taux) / (1.2 – 1.1) Si Taux ∈ [1.1 – 1.2 g/l] - Gly_Nor(Taux) = 0 Ailleurs
Paramètres hématologique	Désigne des paramètres sur les cellules sanguines tels que : globules rouge, globules blanc, coagulation	$\forall(X), \text{Paramètres hématologique}(X) \Rightarrow \text{Globules rouge}(X) \wedge \text{Globules blanc}(X) \wedge \text{Coagulation}(X)$
Coagulation	Est un processus complexe aboutissant à la formation de caillots sanguins. Peut-être : Fibrinogène, Numération plaquettaire, Plasminogène, Temps de céphaline, Temps de coagulation,...	$\forall(X), \text{Coagulation}(X) \Rightarrow \text{Fibrogène}(X) \vee \text{Numération plaquettaire}(X) \vee \text{Plasminogène}(X) \vee \text{Temps de céphaline}(X) \vee \text{Temps de coagulation}(X) \vee \dots(X)$
Hormones	Sont des substances chimiques sécrétées par une glande endocrine. Tels que : Cortisolémie, Insulinémie,...	$\forall(X), \text{Hormones}(X) \Rightarrow \text{Cortisolémie}(X) \wedge \text{Glucagonémie}(X) \wedge \text{FSH}(X) \wedge \text{Smartopine}(X) \wedge \text{Insulinémie}(X) \wedge \text{TSH}(X) \wedge \dots(X)$
La fonction cardiaque	Consiste à envoyer une quantité de sang adaptée en permanence à l'ensemble de l'organisme en fonction de ses besoins. Comme : ASAT, ALAT, Troponine,LDH	$\forall(X), \text{Fonction cardiaque}(X) \Rightarrow \text{ASAT}(X) \wedge \text{ALAT}(X) \wedge \text{Troponine}(X) \wedge \text{LDH}(X)$

Tableau 3. 6 : Table des axiomes logiques.

4-2-9_ Table des instances des concepts précis

La table des instances des concepts précis décrit toutes les instances avec leurs attributs et valeurs.

Concept	Nom de l'instance	Attributs	Valeurs
Laboratoire	OUAMANE	-Nom -Adresse -Email -Tel	OUAMANE Biskra laboratoireouamane@yahoo.fr 0552040678
Biologiste	AmamraAdlen	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Adresse personnel	Amamra Adlen Biskra Biskra

		-Email -Tel	Amamaraadlen@gmail.com 0771345609
Patient	Rachid Mekhloufi	-Nom -Prénom -Age -Sexe -Adresse -Tel	Mekhloufi Rachid 67 Masculin Biskra 0667987645
Infirmier	Belloum Samir	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Adresse personnel -Email -Tel	Belloum Samir Biskra Biskra Beloum@gmail.com 0555456789
Agent d'accueil	Rerfid Amel	-Nom -Prénom -Adresse professionnel -Email -Tel	Rerfid Amel Biskra Rerfidamel@hotmail.fr 0666452098
.....

Tableau 3. 7 : Table des instances des concepts précis.

4-2-10 Table des instances des concepts flous

La table des instances des concepts flous décrit pour chaque concept flou ces instances avec leurs degrés d'appartenance.

Concept	Instance	Degré d'appartenance
ADN/ARN de virus	29 Kb	1
IgG	72%	0.72
IgM	10%	0.1
Surcharge pondérale	32.9 kg/m2	1
Glycémie_Normale	0.95 g/l	1
TSH_Normale	0.7 mUI/L	0.5

Tableau 3. 8 : Table des instances des concepts flous.

4-2-11 Table des assertions précises

Les assertions affirment l'existence des relations précises entre les instances.

Relation	Instance source	Instance cible
Tester_par	Covid-19	ELISA
Gérer_par	OUAMANE	Douadi Farid
Supervisé_par	AmamraAdlen	Latreche Farid
Travaille_pour	Belloum Samir	OUAMANE
Collabore_avc	Belloum Samir	AmamraAdlen
.....

Tableau 3. 9 : Table des assertions précises.

4-2-12_Table des assertions floues

Les assertions affirment l'existence des relations floues entre les instances.

Relation	Instance source	Instance cible	Degré d'appartenance
Est_infectée	Rachid Mekhloufi	29 Kb	1
Est_déjà_infectée	Rachid Mekhloufi	10%	0.1
Est_hyperthermique	Mahamed Ali	37.9 °C	0.8
Est_maigre	Rachid Mekhloufi	18.7 kg/m2	0.87
.....

Tableau 3. 10 : Table des assertions floues.

4-3_Formalisation

Cette étape permet de faciliter la représentation de l'ontologie dans un langage complètement formel et opérationnel.

4-3-1_Représentation de la partie terminologique (T-Box)

Cette dernière comprend des définitions de concepts et de rôles (Précis et flous) ainsi que des inclusions de concepts, en utilisant la syntaxe de la logique de descriptions SHIQ.

La logique de descriptions SHIQ est définie à partir des règles de syntaxe suivantes :

<p>C, D → T plus général</p> <ul style="list-style-type: none"> ⊥ Absurde (le plus spécifique) P concept primitif C ∩ D conjonction de concepts C ∪ D disjonction de concepts ¬C négation ∀r.C restriction universelle (définit le co-domaine du rôle r) ∃r.C restriction existentielle (il existe au moins un objet relié par le rôle r au concept C) ≤nr.C cardinalité maximum ≥nr.C cardinalité minimum <p>r → q rôle primitif</p> <ul style="list-style-type: none"> r1 ∩ r2 conjonction de rôles r1 ∪ r2 disjonction de rôles

La bonne formalisation des LD tient à leur sémantique.[HEM 05]C'est cette sémantique qui permet d'avoir des mécanismes d'inférence bien fondés pour lesquels on peut démontrer des résultats de cohérence et de complétude.

➤Sémantique de la logique de descriptions « SHIQ »:

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

➤ Sémantique de la logique de descriptions floue « Fuzzy DL » :

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

4-3-1-1 Définition des concepts précis

Une définition de concept, associe un nom de concept à une expression de la logique de descriptions.

Covid-19 : $(\text{ADN/ARN} \sqcup \text{Anticorps}) \sqcap (\forall \text{Tester_par.Anticorps}) \sqcap (\exists \text{Déjà_existe.Patient}) \sqcap (\forall \text{Tester_par.ADN/ARN}) \sqcap (\geq 1 \text{Existe. Covid-19} \sqcap \leq 1 \text{Existe. Covid-19})$

Personne : $\text{Biologiste} \sqcup \text{Paramédical} \sqcup \text{Staff administratif} \sqcup \text{Patient} \sqcup \text{Responsable}$

Responsable : $(\forall \text{Fait_partie.Personne}) \sqcap \text{Biologiste} \sqcap (\geq 1 \text{Gère.Laboratoire} \sqcap \leq 1 \text{Gère.Laboratoire})$

Laboratoire : $(\text{Biologiste} \sqcup \text{Paramédical} \sqcup \text{Staff administratif} \sqcup \text{Patient} \sqcup \text{Analyses}) \sqcap (\forall \text{Présente_des.Analyses}) \sqcap (\geq 1 \text{Gérer_par.Responsable} \sqcap \leq 1 \text{Gérer_par.Responsable}) \sqcap (\exists \text{Emploi.Biologiste}) \sqcap (\exists \text{Emploi.Paramédical}) \sqcap (\exists \text{Emploi.Staff administratif}) \sqcap (\exists \text{Reçoit.Patient})$

Staff administratif : $\text{Chef de service} \sqcup \text{Agent d'accueil} \sqcup \text{Agent de saisie}$

Agent d'accueil : $(\forall \text{Rlève_du.Staff administratif}) \sqcap (\geq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire} \sqcap \leq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire}) \sqcap (\geq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service} \sqcap \leq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service}) \sqcap (\exists \text{Accueil.Patient})$

Agent de saisie : $(\forall \text{Rlève_du.Staff administratif}) \sqcap (\geq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire} \sqcap \leq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire}) \sqcap (\geq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service} \sqcap \leq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service}) \sqcap (\exists \text{Aide.Agent d'accueil})$

Chef de service : $(\forall \text{Rlève_du.Staff administratif}) \sqcap (\geq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire} \sqcap \leq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire}) \sqcap (\exists \text{Supervise.Biologiste}) \sqcap (\exists \text{Supervise.Infirmier}) \sqcap (\exists \text{Supervise.Aide-soignant}) \sqcap (\exists \text{Supervise.Agent d'accueil}) \sqcap (\exists \text{Supervise.Agent de saisie})$

Biologiste : $(\forall \text{Fait_partie.Personne}) \sqcap (\geq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire} \sqcap \leq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire}) \sqcap (\geq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service} \sqcap \leq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service}) \sqcap (\exists \text{Analyse_des.Analyses}) \sqcap (\exists \text{Collabore_avc.Infirmier})$

Paramédical : $\text{Infirmier} \sqcup \text{Aide-soignant}$

Infirmier : $(\forall \text{Est.Paramédical}) \sqcap (\geq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire} \sqcap \leq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire}) \sqcap (\geq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service} \sqcap \leq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service}) \sqcap (\exists \text{Collabore_avc.Biologiste})$

Aide-soignant : $(\forall \text{Est.Paramédical}) \sqcap (\geq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire} \sqcap \leq 1 \text{Travaille_pour.Laboratoire}) \sqcap (\geq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service} \sqcap \leq 1 \text{Supervisé_par.Chef de service}) \sqcap (\exists \text{Traivaille_avec.Infirmier}) \sqcap (\exists \text{S'occupe.Patient})$

Patient : $(\forall \text{Fait_partie.Personne}) \sqcap (\geq 1 \text{Se_rend.Laboratoire} \sqcap \leq 1 \text{Se_rend.Laboratoire}) \sqcap (\geq 1 \text{Est_accueilli.Agent d'accueil} \sqcap \leq 1 \text{Est_accueilli.Agent d'accueil}) \sqcap (\exists \text{Effectue_des.Analyses}) \sqcap (\exists \text{Est_déjà_infectée.Covid-19}) \sqcap (\geq 1 \text{Est_infectée.Covid-19} \sqcap \leq 1 \text{Est_infectée.Covid-19})$

<p>Est_infectée.Covid-19)</p> <p>Analyses : (≥ 1 Présenté_dans.Laboratoire $\sqcap \leq 1$ Présenté_dans.Laboratoire) \sqcap (≥ 1 Effectué_par.Patient $\sqcap \leq 1$ Effectué_par.Patient) \sqcap (\exists Analyser_par.Biologiste) \sqcap (\forall inclue.Signes vitaux) \sqcap (\forall inclue.Hormones) \sqcap (\forall inclue.Paramétrishématologique) \sqcap (\forall inclue.Fonction cardiaque) \sqcap (\forall inclue.indice de masse corporelle) \sqcap (\forall inclue.Constituants du sang) \sqcap (\forall inclue.Covid-19)</p> <p>Signes vitaux : Tension artérielle \sqcup Fréquence cardiaque \sqcup Fréquence respiratoire \sqcup Température corporelle</p> <p>Indice de masse corporelle : Insuffisance pondérale \sqcup Surcharge pondérale \sqcup Obésité classe1 \sqcup Obésité classe2 \sqcup Obésité classe3 \sqcup IMC normal</p> <p>Constituants du sang : Glycémie \sqcup Calcémie \sqcup Uricémie \sqcup ...</p> <p>Paramètres hématologiques : Globules rouges \sqcup Globules blancs \sqcup Coagulation</p> <p>Hormones : Cortisolémie \sqcup Smartopine \sqcup Insulinémie \sqcup ...</p> <p>Fonction cardiaque : ASAT \sqcup ALAT \sqcup Troponine \sqcup LDH</p>

Tableau 3. 11 : Définition des concepts précis.

4-3-1-2 Définition des relations précises

<p>Tester_par(Covid-19, Anticorps)</p> <p>Tester_pour(Covid-19, ADN/ARN)</p> <p>Présente_des(Laboratoire, Analyses)</p> <p>Gérer_par(Laboratoire, Responsable)</p> <p>Reçoit (Laboratoire, Patient)</p> <p>Emploi (Laboratoire, Biologiste)</p> <p>Supervisé_par(Biologiste, Chef de service)</p> <p>Effectue_des(Patient, Analyses)</p> <p>Analyser_par(Biologiste, Analyses)</p> <p>Inclue (Analyses, Signes Vitaux)</p> <p>Relève_du(Chef de service, Staff administratif)</p> <p>Fait_partie(Responsable, Personne)</p> <p>Est (Infirmier, Paramédical)</p> <p>Travaille_pour(Aide-soignant, Laboratoire)</p> <p>Travaille_avec(Aide-soignant, Infirmier)</p> <p>Collabore_avec(Infirmier, Biologiste)</p> <p>Aide (Agent de saisie, Agent d'accueil)</p> <p>Se_rend(Patient, Laboratoire)</p> <p>S'occupe (Aide-soignant, Patient)</p> <p>Accueil (Agent d'accueil, Patient)</p> <p>Appartient (Glycémie, Constituants du sang)</p> <p>Fait_partie_de(Insuffisance pondérale, IMC)</p>

Tableau 3. 12 : Définition des relations précises.

4-3-1-3_Définition des concepts flous

La définition des concepts flous passe par : la définition du terme linguistique de la variable, la définition du concept en logique de descriptions, la définition de la fonction d'appartenance et la définition des axiomes.

➤Concept : IgG_Normale

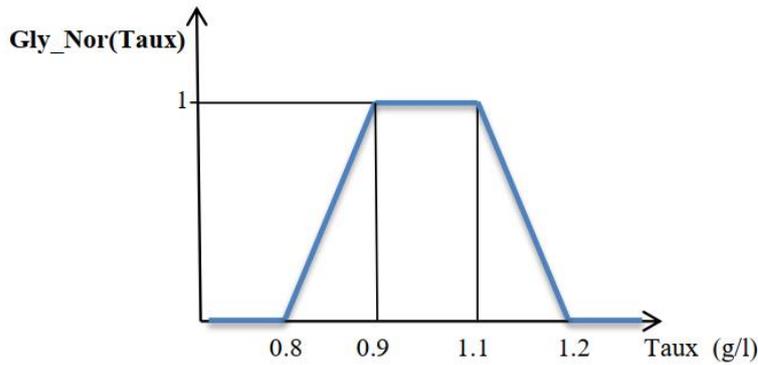
- Le terme linguistique : **Normale** (IgG_Normale)
- IgG_Normale : $(\forall \text{Appartient.Covid-19}) \cap \exists \text{anticorps .Normale}$
- Fonction d'appartenance : **IgG_N** (70%, 72%, 73%, 75%)de type trapézoïdale
- Axiomes :
- IgG_E(Taux)=0.7 si Taux \in 70%
- IgG_E(Taux)=0.72 si Taux \in 72%
- IgG_E(Taux)=0.73 si Taux \in 73%
- IgG_E(Taux)= 0.75 si Taux \in 75%

➤Concept : IgM_Normale

- Le terme linguistique : **Elevé** (IgM_Normale)
- IgM_Normale : $(\forall \text{Appartient.Covid-19}) \cap \exists \text{anticorps .Elevé}$
- Fonction d'appartenance : **IgM_E** (10%, 12%, 13%, 15%)de type monotone croissant
- Axiomes :
- IgM_E(Taux) =0.1 si Taux \in 10%
- IgG_E(Taux)= 0.12 si Taux \in 12%
- IgG_E(Taux)= 0.13 si Taux \in 13%
- IgG_E(Taux)= 0.15 si Taux \in 15%

➤Concept : Glycémie_Normale

- Le terme linguistique : **Normale** (Glycémie normale)
- Glycémie_Normale : $(\forall \text{Appartient.Constituants du sang}) \cap \exists \text{Glucose.Normale}$
- Fonction d'appartenance : **Gly_Nor** (0.8, 0.9, 1.1, 1.2) de type trapézoïdale



-Axiomes :

$$\text{Gly_Nor}(\text{Taux}) = 1 \text{ Si Taux} \in [0.9 - 1.1 \text{ g/l}]$$

$$\text{Gly_Nor}(\text{Taux}) = (\text{Taux} - 0.8) / (0.9 - 0.8) \text{ Si Taux} \in [0.8 - 0.9 \text{ g/l}]$$

$$\text{Gly_Nor}(\text{Taux}) = (1.2 - \text{Taux}) / (1.2 - 1.1) \text{ Si Taux} \in [1.1 - 1.2 \text{ g/l}]$$

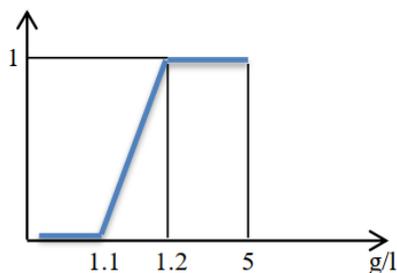
$$\text{Gly_Nor}(\text{Taux}) = 0 \text{ Ailleurs}$$

➤Concept : Hyperglycémie

- Le terme linguistique : **Élevé** (taux de la glycémie élevé)

- Hyperglycémie : $(\forall \text{Appartient.Constituants du sang}) \sqcap \exists \text{Glucose.Élevé}$

- Fonction d'appartenance : **Hyper_Gly**(1.1, 1.2, 5) de type Monotone croissant.



-Axiomes :

$$\text{Hyper_Gly}(\text{Taux}) = 1 \text{ Si Taux} \in [1.2 - 5 \text{ g/l}]$$

$$\text{Hyper_Gly}(\text{Taux}) = (\text{Taux} - 1.1) / (1.2 - 1.1) \text{ Si Taux} \in [1.1 - 1.2]$$

$$\text{Hyper_Gly}(\text{Taux}) = 0 \text{ Ailleurs}$$

La table suivante présente la définition des autres concepts flous.

Concept	Terme linguistique	Syntaxe de la logique de description	Type de fonction	Fonction d'appartenance	Axiomes
ADN/ARN	Normale	Covid-19 \sqcap \exists ADN/ARN.Normale	Trapézoïdale	ADN/ARN N (27, 29, 30, 32)	- ADN/ARN_N(Taille) = 1 si Taille \in [29- 30 [-ADN/ARN_N(Taille) = (Taille - 27) / (29 - 27) si Taille \in [27 - 29 [

					<p>-ADN/ARN_N(Taille)</p> <p>= (32 - Taille) / (32 - 29) si Taille ∈ [30-32]</p> <p>-ADN/ARN_N(Taille)</p> <p>= 0 ailleurs</p>
IgG	Normale	Covid-19 ∃IgG.Elevé	Trapézoïdale	<p>IgG_N (70%, 72%, 73%, 75%)</p>	<p>-IgG_E(Taux)=0.7 si Taux ∈70%</p> <p>IgG_E(Taux)=0.72 si Taux ∈72%</p> <p>-IgG_E(Taux)=0.73 si Taux ∈73%</p> <p>-IgG_E(Taux)= 0.75 si Taux ∈75%</p>
IgM	Elevé	Covid-19 ∃IgM.Elevé	Monotone croissant	<p>IgM_E(10%, 12%, 13%, 15%)</p>	<p>-IgM_E(Taux) =0.1 si Taux ∈10%</p> <p>-IgM_E(Taux)= 0.12 si Taux ∈ 12%</p> <p>-IgM_E(Taux)= 0.13 si Taux ∈13%</p> <p>-IgM_E(Taux)= 0.15 si Taux ∈15%</p>
Hyper-Systolique	Hyper (élevé)	Tension artérielle ∃Pression_max. Hyper	Monotone croissant	<p>H_S (120, 130, 180)</p>	<p>- H_S(Valeur) = 1 si Valeur ∈] 130 -180 [</p> <p>- H_S(Valeur) = (Valeur - 120) / (130 - 120) si Valeur ∈ [120 - 130 [</p> <p>- H_S(Valeur) = 0 ailleurs</p>
Hypo-Systolique	Hypo (basse)	Tension artérielle ∃Pression_max. Hypo	Monotone décroissant	<p>Hypo_S(60, 90, 100)</p>	<p>-Hypo_S(Valeur) = 1 si Valeur ∈] 60 - 90 [</p> <p>- Hypo_S(Valeur) = (100 - Valeur) / (100 - 90) si Valeur ∈ [90 - 100 [</p> <p>- Hypo_S(Valeur) = 0 ailleurs</p>

Fréquence cardiaque_Normale	Normale	Signes vitaux \sqcap \exists Pulsations.Normale	Trapézoïdale	FCN (60, 70, 90, 100)	<ul style="list-style-type: none"> - FCN(Valeur) = 1 si Valeur \in [70 - 90[- FCN(Valeur) = (Valeur - 60) / (70 - 60) si Valeur \in [60 - 70[- FCN(Valeur) = (100 - Valeur) / (100 - 90) si Valeur \in [90 - 100] - FCN(Valeur) = 0 ailleurs
-----------------------------	---------	--	--------------	------------------------------	---

Tachycardie	Elevée	Signes vitaux \sqcap \exists Pulsations.Elevée	Monotone croissant	T_c (90, 100, 140)	<ul style="list-style-type: none"> - T_c(Valeur) = 1 si Valeur \in [100 - 140[- T_c(Valeur) = (Valeur - 90) / (100 - 90) si Valeur \in [90 - 100[- T_c(Valeur) = 0 ailleurs
Fréquence respiratoire_Normale	Normale	Signes vitaux \sqcap \exists Cycles respiratoire.Normale	Trapézoïdale	FRN (12, 14, 16, 18)	<ul style="list-style-type: none"> - FRN(Valeur) = 1 si Valeur \in [14 - 16[- FRN(Valeur) = (Valeur - 12) / (14 - 12) si Valeur \in [12 - 14[- FRN(Valeur) = (18 - Valeur) / (18 - 16) si Valeur \in [16 - 18] - FRN(Valeur) = 0 ailleurs
Bradypnée	Ralentie	Signes vitaux \sqcap \exists Cycles respiratoire.Ralentie	Monotone décroissant	B_p (8, 12, 14)	<ul style="list-style-type: none"> - B_p(Valeur) = 1 si Valeur \in] 8 - 12 [- B_p(Valeur) = (14 - Valeur) / (14 - 12) si Valeur \in] 12 - 14 [- B_p(Valeur) = 0 ailleurs

Température Corporelle_Normale	Normale	Signes vitaux \sqcap \exists Température.Normale	Trapézoïdale	TCN (36, 36.5, 37.5, 38)	<ul style="list-style-type: none"> - TCN(Valeur) = 1 si Valeur \in [36.5 – 37.5 [- TCN(Valeur) = (Valeur - 36) / (36.5 – 36) si Valeur \in [36 – 36.5 [- TCN(Valeur) = (38 - Valeur) / (38 – 37.5) si Valeur \in [37.5 – 38] - TCN(Valeur) = 0 ailleurs
Hypothermie	Basse	Signes vitaux \sqcap \exists Température.Basse	Monotone décroissant	Hypo_ther (34, 36,36.5)	<ul style="list-style-type: none"> - Hypo_ther(Valeur) = 1 si Valeur \in] 34 – 36 [- Hypo_ther(Valeur) = (36.5 – Valeur) / (36.5 – 36) si Valeur \in [36 – 36.5 [- Hypo_ther(Valeur) = 0 ailleurs

Acide folique_Normale	Normal	Constituants du sang \sqcap \exists Acide folique.Normale	Trapézoïdale	ACF (7, 14, 31, 36)	<ul style="list-style-type: none"> - ACF(Taux) = 1 si Taux \in [14 - 31[- ACF(Taux) = (Taux - 7) / (14 – 7) si Taux \in [7 - 14[- ACF(Taux) = (36 - Taux) / (36 – 31) si Taux \in [31 – 36] - ACF(Taux) = 0 ailleurs
Uricémie_Normale	Normale	Constituants du sang \sqcap \exists Acide urique.Normale	Trapézoïdale	U_N (40, 47, 63, 70)	<ul style="list-style-type: none"> - U_N(Taux) = 1 si Taux \in [47 – 63 [- U_N(Taux) = (Taux - 40) / (47 – 40) si Taux \in [40 – 47 [- U_N(Taux) = (70 - Taux) / (70 – 63) si Taux \in [63 – 70] - U_N(Taux) = 0 ailleurs
Triglycérides_Normale	Normale	Constituants du sang \sqcap \exists Glycéride.Normale	Trapézoïdale	Tri_N (0.4, 0.8, 1.6, 2)	<ul style="list-style-type: none"> - Tri_N(Taux) = 1 si Taux \in [0.8 – 1.6 [- Tri_N(Taux) = (Taux – 0.4) / (0.8 – 0.4) si Taux \in [0.4 – 0.8 [- Tri_N(Taux) = (2 - Taux) / (2 – 1.6) si Taux \in [1.6 – 2] - Tri_N(Taux) = 0 ailleurs

Alcoolémie_Normale	Normale	Constituants du sang $\sqcap \exists$ Alcool.Normale	Trapézoïdale	Al_N (0.092, 0.1, 0.17, 0.25)	<ul style="list-style-type: none"> - Al_N(Valeur) = 1 si Valeur \in] 0.1 – 0.17 [- Al_N(Valeur) = (Valeur – 0.092) / (0.1 – 0.092) si Valeur \in]0.092 – 0.1 [- Al_N(Valeur) = (0.25 – Valeur) / (0.25 – 0.17) si Valeur \in]0.17 – 0.25 [- Al_N(Valeur) = 0 ailleurs
Temps de coagulation_Normale	Normal	Coagulation $\sqcap \exists$ Temps.Normal	Trapézoïdale	Tc_N (5, 7.5, 12.5, 15)	<ul style="list-style-type: none"> - Tc_N(Temps) = 1 si Temps \in]7.5 – 12.5 [- Tc_N(Temps) = (Temps – 5) / (7.5 – 5) si Temps \in]5 – 7.5 [- Tc_N(Temps) = (15 – Temps) / (15 – 12.5) si Temps \in]12.5 – 15] - Tc_N(Temps) = 0 ailleurs
Insulinémie_Normale	Normale	Hormones $\sqcap \exists$ Insuline.Normale	Trapézoïdale	Ins_N (36, 72, 143, 179)	<ul style="list-style-type: none"> - Ins_N(Taux) = 1 si Taux \in]72 – 143 [- Ins_N(Taux) = (Taux – 36) / (72 – 36) si Taux \in]36 – 72 [- Ins_N(Taux) = (179 – Taux) / (179 – 143) si Taux \in]143 – 179] - Ins_N(Taux) = 0 ailleurs
TSH_Normale	Normale	Hormones $\sqcap \exists$ Thyréostimuline.Normale	Trapézoïdale	TSH_N (0.2, 1.2, 3, 4)	<ul style="list-style-type: none"> - TSH_N(Taux) = 1 si Taux \in]1.2 – 3 [- TSH_N(Taux) = (Taux – 0.2) / (1.2 – 0.2) si Taux \in]0.2 – 1.2 [- TSH_N(Taux) = (4 – Taux) / (4 – 3) si Taux \in]3 – 4] - TSH_N(Taux) = 0 ailleurs
CPK_Normale	Normale	Fonction cardiaque $\sqcap \exists$ Créatine phosphokinase.Normale	Trapézoïdale	CPK_N (10, 55, 155, 200)	<ul style="list-style-type: none"> - CPK_N(Taux) = 1 si Taux \in]55 – 155 [- CPK_N(Taux) = (Taux – 10) / (55 – 10) si Taux \in]10 – 55 [- CPK_N(Taux) = (200 – Taux) / (200 – 155) si Taux \in]155 – 200] - CPK_N(Taux) = 0 ailleurs
.....

Tableau 3. 13 : Définition des concepts flous.

4-3-1-4 Définition des relations floues

La table 4.14 présente la définition des relations floues.

Relation	Domaine/ Co- domaine	Variable linguistique	Type de la fonction d'appartenance	Fonction d'appartenance	Axiomes
Est_déjà_infectée	Patient/Covid-19(IgM)	Taux des anticorps	Monotone croissant	Est_déjà_infectée (0.12, 0.13, 0.15)	-Est_déjà_infectée (Taux)= 0.12 si Taux ∈ 12% -Est_déjà_infectée (Taux)= 0.13 si Taux ∈ 13% -Est_déjà_infectée (Taux)= 0.15 si Taux ∈ 15%
Est_infectée	Patient/Covid-19 (ADN/ARN)	Taille degénome	Trapézoïdale	Est_infectée (27, 29, 30)	-Est_infectée(Taille) = 1 si Taille ∈ [29– 30 [-Est_infectée(Taille) = (Taille - 27) / (29 – 27) si Taille ∈ [27 – 29 [-Est_infectée(Taille) = 0 ailleurs
Est_Alcoolique	Patient/Alcoolémie_Elevée	Taux d'alcool	Monotone croissant	Est_Al(0.17, 0.25, 1)	- Est_Al(Taux) = 1 si Taux ∈ [0.25 – 1] - Est_Al(Taux) = (Taux – 0.17) / (0.25 – 0.17) si Taux ∈ [0.17 – 0.25] - Est_Al(Taux) = 0 ailleurs
Est_Obèse	Patient/Surcharge pondérale	IMC	Monotone croissant	Est_O(23.3, 24.9, 55)	- Est_O(Taux) = 1 si Taux ∈ [24.9 – 50] - Est_O(Taux) = (Taux – 23.3) / (24.9 – 23.3) si Taux ∈ [23.3 – 24.9] - Est_O(Taux) = 0 ailleurs
Est_Maigre	Patient/Insuffisance pondérale	IMC	Monotone décroissant	Est_M(12, 18.5, 20.1)	- Est_M(Taux) = 1 si Taux ∈ [12 – 18.5] - Est_M(Taux) = (20.1 – Taux) / (20.1 – 18.5) si Taux ∈ [18.5 – 20.1] - Est_M(Taux) = 0 ailleurs

Est_hyperDiastolique	Patient/Hypertensive Diastolique	Valeur de la Diastolique	Monotone croissant	Est_Hyper_D (79, 85, 110)	<ul style="list-style-type: none"> - Est_Hyper_D(Valeur) = 1 si Valeur ∈] 85 - 110[- Est_Hyper_D(Valeur) = (Valeur - 79) / (85 - 79) si Valeur ∈ [79 - 85 [- Est_Hyper_D (Valeur) = 0 ailleurs
Est_hypoDiastolique	Patient/Hypotensive Diastolique	Valeur de la Diastolique	Monotone décroissant	Est_Hypo_D (30, 60, 66)	<ul style="list-style-type: none"> - Est_Hypo_D(Valeur) = 1 si Valeur ∈] 30 - 60 [- Est_Hypo_D(Valeur) = (66 - Valeur) / (66 - 60) si Valeur ∈ [60 - 66 [- Est_Hypo_D(Valeur) = 0 ailleurs
Atteint_une	Patient/Bradycardie	Nombre de battement par minute	Monotone décroissant	Atteint_une (30, 60, 70)	<ul style="list-style-type: none"> - Atteint_une(Valeur) = 1 si Valeur ∈] 30 - 60 [- Atteint_une(Valeur) = (70 - Valeur) / (70 - 60) si Valeur ∈ [60 - 70 [- Atteint_une(Valeur) = 0 ailleurs
Est_hypertermique	Patient/Fièvre	Valeur de la température	Monotone croissant	Est_Hyper_ther (37.5, 38, 41)	<ul style="list-style-type: none"> - Est_Hyper_ther(Temp) = 1 si Temp ∈ [38 ; 41] ; - Est_Hyper_ther (Temp) = (Temp - 37.5) / (38 - 37.5) si Temp ∈ [37.5 ; 38] - Est_Hyper_ther(Temp) = 0 Ailleurs
Atteint	Patient/TSH Elevée	Taux de la thyroïdostimuline	Monotone croissant	Atteint (3, 4, 6)	<ul style="list-style-type: none"> - Atteint(Taux) = 1 si Taux ∈ [4 - 6 [- Atteint(Taux) = (Taux - 3) / (4 - 3) si Taux ∈ [3 - 4 [- Atteint(Taux) = 0 ailleurs
.....

Tableau 3. 14 : Définition des relations floues.

4-3-1-5_Inclusion des concepts

<p>Personne \sqsubseteq T Laboratoire \sqsubseteq T Analyses \sqsubseteq T Paramédical \sqsubseteq Personne Patient \sqsubseteq Personne Biologiste \sqsubseteq Personne Staff administratif \sqsubseteq Personne Responsable \sqsubseteq Personne Agent de saisie \sqsubseteq Staff administratif Agent d'accueil \sqsubseteq Staff administratif Chef de service \sqsubseteq Staff administratif Infirmier \sqsubseteq Paramédical Aide-soignant \sqsubseteq Paramédical Signes vitaux \sqsubseteq Analyses IMC \sqsubseteq Analyses Constituants du sang \sqsubseteq Analyses Paramètres hématologiques \sqsubseteq Analyses Hormones \sqsubseteq Analyses Fonction cardiaque \sqsubseteq Analyses Tension artérielle \sqsubseteq Signes vitaux Fréquence cardiaque \sqsubseteq Signes vitaux Fréquence respiratoire \sqsubseteq Signes vitaux Température corporelle \sqsubseteq Signes vitaux Systolique \sqsubseteq Tension artérielle Diastolique \sqsubseteq Tension artérielle Hyper-Systolique \sqsubseteq Systolique Hypo-Systolique \sqsubseteq Systolique Hyper-Diastolique \sqsubseteq Diastolique Hypo-Diastolique \sqsubseteq Diastolique Bradycardie \sqsubseteq Fréquence cardiaque Tachycardie \sqsubseteq Fréquence cardiaque Bradypnée \sqsubseteq Fréquence respiratoire Tachypnée \sqsubseteq Fréquence respiratoire Fibrogène \sqsubseteq Coagulation Numération plaquettaire \sqsubseteq Coagulation Temps de céphaline \sqsubseteq Coagulation Temps de coagulation \sqsubseteq Coagulation Temps de prothrombine \sqsubseteq Coagulation Temps de saignement \sqsubseteq Coagulation Temps de thrombine \sqsubseteq Coagulation Cortisolémie \sqsubseteq Hormones Glucagonémie \sqsubseteq Hormones Smartopine \sqsubseteq Hormones FSH \sqsubseteq Hormones Covid-19 \sqsubseteq Analyses ADN/ARN \sqsubseteq Analyses IgG/IgM \sqsubseteq Analyses</p>	<p>Fièvre \sqsubseteq Température corporelle Hypothermie \sqsubseteq Température corporelle Insuffisance pondérale \sqsubseteq IMC Surcharge pondérale \sqsubseteq IMC Obésité classe1 \sqsubseteq IMC Obésité classe2 \sqsubseteq IMC Obésité classe3 \sqsubseteq IMC Acide folique \sqsubseteq Constituants du sang Acide lactique \sqsubseteq Constituants du sang Uricémie \sqsubseteq Constituants du sang Albuminurie \sqsubseteq Constituants du sang Amylasémie \sqsubseteq Constituants du sang Acide lactique \sqsubseteq Constituants du sang Alcoolémie \sqsubseteq Constituants du sang Bilirubine \sqsubseteq Constituants du sang Bilirubine totale \sqsubseteq Bilirubine Bilirubine directe \sqsubseteq Bilirubine Calcémie \sqsubseteq Constituants du sang Hypocalcémie \sqsubseteq Calcémie Hypercalcémie \sqsubseteq Calcémie Cholestérolémie \sqsubseteq Constituants du sang Cholestérol totale \sqsubseteq Cholestérolémie Cholestérol LDL \sqsubseteq Cholestérolémie Cholestérol HDL \sqsubseteq Cholestérolémie Créatinine \sqsubseteq Constituants du sang Glycémie \sqsubseteq Constituants du sang Hyperglycémie \sqsubseteq Glycémie Hypoglycémie \sqsubseteq Glycémie Triglycérides \sqsubseteq Constituants du sang Globules rouges \sqsubseteq Paramètres hématologique Globules blancs \sqsubseteq Paramètres hématologique Coagulation \sqsubseteq Paramètres hématologique Érythrocytes \sqsubseteq Globules rouges Hématocrite \sqsubseteq Globules rouges Formule leucocytaire \sqsubseteq Globules Blancs Neutrophiles \sqsubseteq Formule leucocytaire Lymphocytes \sqsubseteq Formule leucocytaire PTH \sqsubseteq Hormones Insulinémie \sqsubseteq Hormones Prolactine \sqsubseteq Hormones Testostérone \sqsubseteq Hormones Triiodothyronine (T3) \sqsubseteq Hormones TSH \sqsubseteq Hormones ASAT \sqsubseteq La fonction cardiaque ALAT \sqsubseteq La fonction cardiaque CPK \sqsubseteq La fonction cardiaque Troponine \sqsubseteq La fonction cardiaque LDH \sqsubseteq La fonction cardiaque</p>
--	---

Tableau 3. 15 : Inclusion des concepts.

4-3-2_ Représentation de la partie assertionnelle (A-Box)

La partie assertionnelle (A-Box), est un ensemble d'axiomes décrivant des situations concrètes par rapport au domaine que l'on investit (le domaine des analyses médicales).

OUAMANE: Laboratoire AmamraAdlen : Biologiste Rachid Mekhloufi : Patient Belloum Samir : Infirmier Rerfid Amel : Agent d'accueil 160 mmHg : Hyper-Systolique 38 °C : Fièvre 32.9 kg/m2 : Obésité classe1 1 g/l : Glycémie_Normale 29 Kb :ADN/ARN 72% :igG 10% : igM
Gérer_par (OUAMANE, Douadi Farid) Supervisé_par (AmamraAdlen, Latreche Farid) Travaille_pour (Belloum Samir, OUAMANE) Collabore_avc (Belloum Samir, AmamraAdlen) Se_rend (Mahamed Ali, OUAMANE) Tester_par(Covid-19, (AND/ARN, IgG/ IgM)) Est_diabétique (Mekhloufi Rachid, 2.5 g/l) Est_hyperthermique (Mahamed Ali, 39 °C) Est_maigre (Nazim Boulcen, 15,5 kg/m2) Est_infectée (ImenMrabat, Covid-19) Est_déja_infectée(Walid Almi, Covid-19)

5-Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes phases du processus de développement d'ontologies floues qui est basé principalement sur la méthode METHONTOLGY ainsi que la conception de notre ontologie floue. Comme il fallait choisir un domaine de connaissance, nous avons opté pour le domaine des analyses médicales comme domaine applicatif. Nous avons montré ainsi comment l'ontologie a été conceptualisée puis formalisée, et finalement on va voir l'opérationnalisation dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

L'implémentation de l'ontologie

1- Introduction

Notre travail consiste à concevoir et implémenter une ontologie floue pour le domaine médical et plus précisément pour le domaine des analyses médicales.

2- Opérationnalisation

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.

2-1- Outils de programmation

Pour l'implémenter de notre ontologie nous avons utilisé :

- ❖ l'éditeur protégé version 4.3 : Protégé est un éditeur d'ontologies open-source qui supporte le langage OWL (Web Ontology Language).
- ❖ langage de codification OWL :(un langage de définition d'ontologie pour le Web).
- ❖ le raisonneur Fuzzy DL :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.
- ❖ Fuzzy OWL 2 plug-in :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 FuzzyDL. Il est élaboré par Fernando Bobillo et Umberto Straccia en 2011.

2-2- Implémentation de l'ontologie

2-2-1- Définir la hiérarchie de concepts

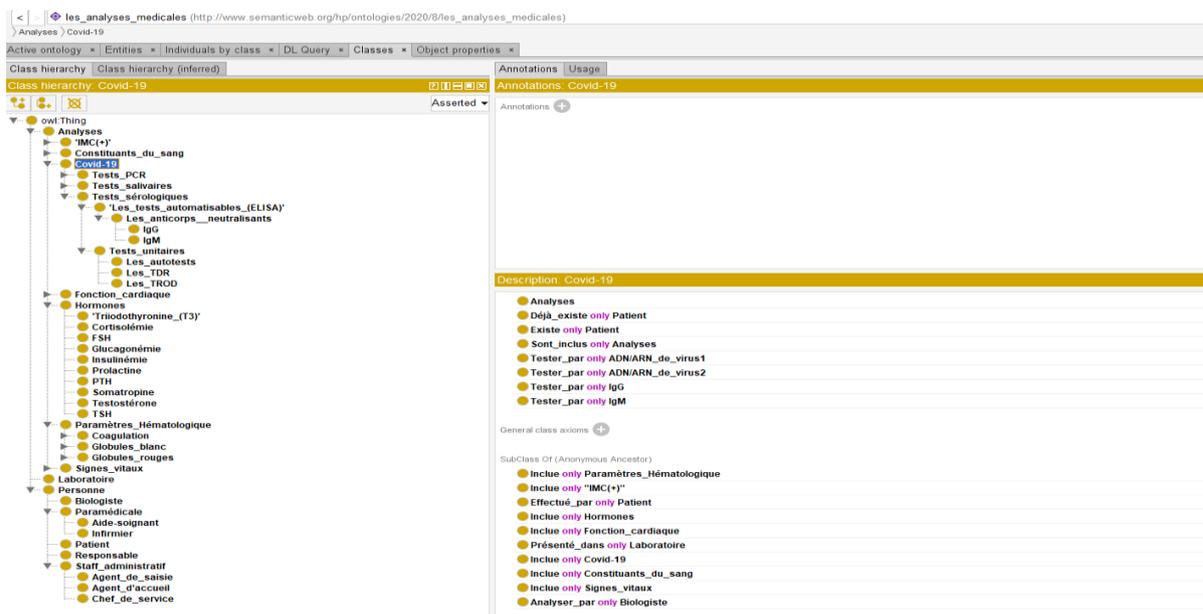


Figure 4. 1 : Hiérarchie de classes.

2-2-2- Définir des relations entre les concepts (rôles)

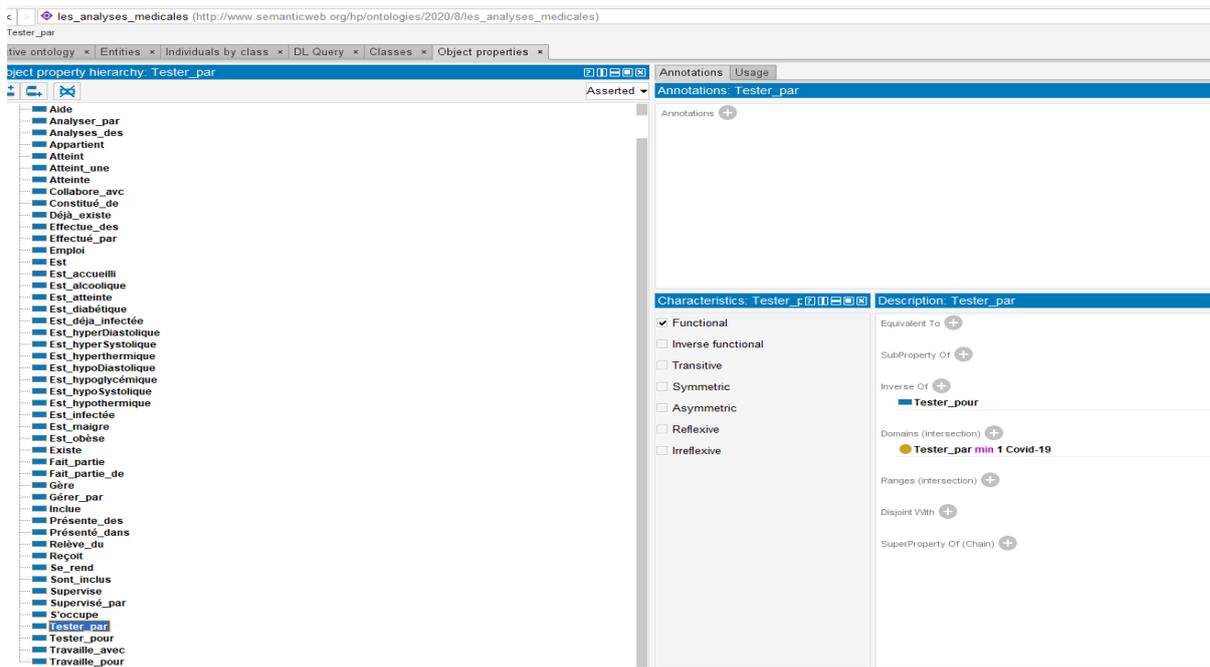


Figure 4. 2 : Relations entre concepts.

2-2-3- Instancier des concepts

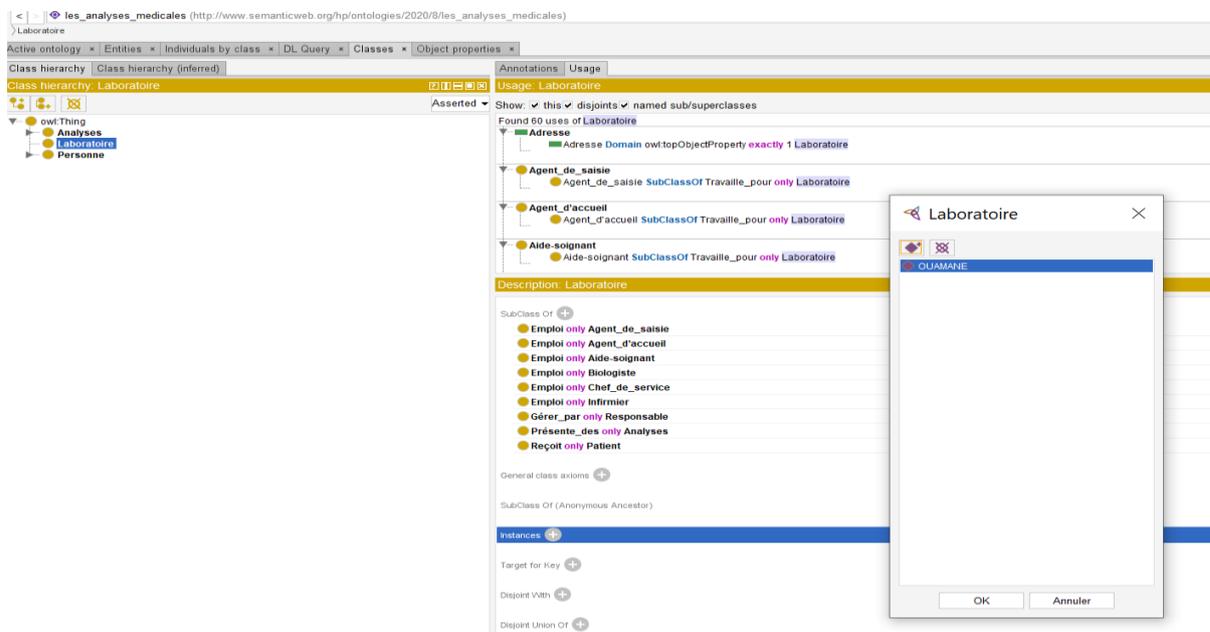


Figure 4. 3 : Instanciation du concept précis « Laboratoire ».

- ❖ Le Fuzzy OWL 2 plug-in est disponible sur le web. Une fois le plugin installé, un nouvel onglet OWL flou apparaitre qui permet d'utiliser le plug-in.

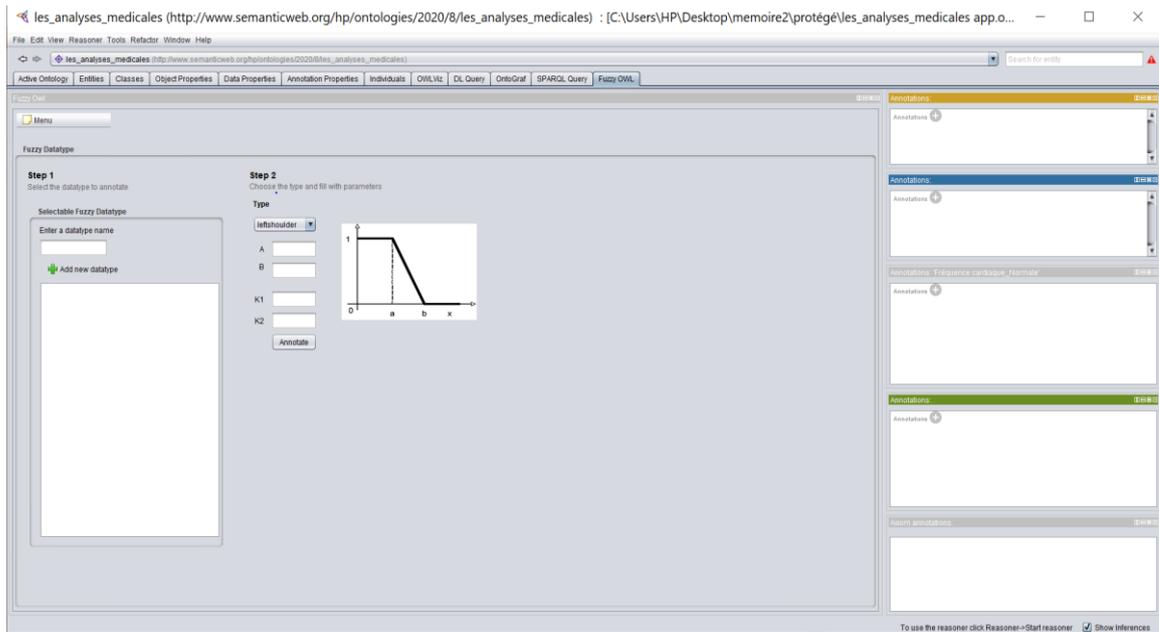


Figure 4. 4 : L'onglet fuzzy owl de plugin.

- ❖ Le plug-in dispose d'un menu avec les options disponibles. L'utilisateur a un choix de définir les éléments flous dans l'ontologie (types de données floue, des concepts, des concepts pondérés, les modificateurs flous,...etc), il nous permet de spécifier la logique floue utilisée dans l'ontologie.

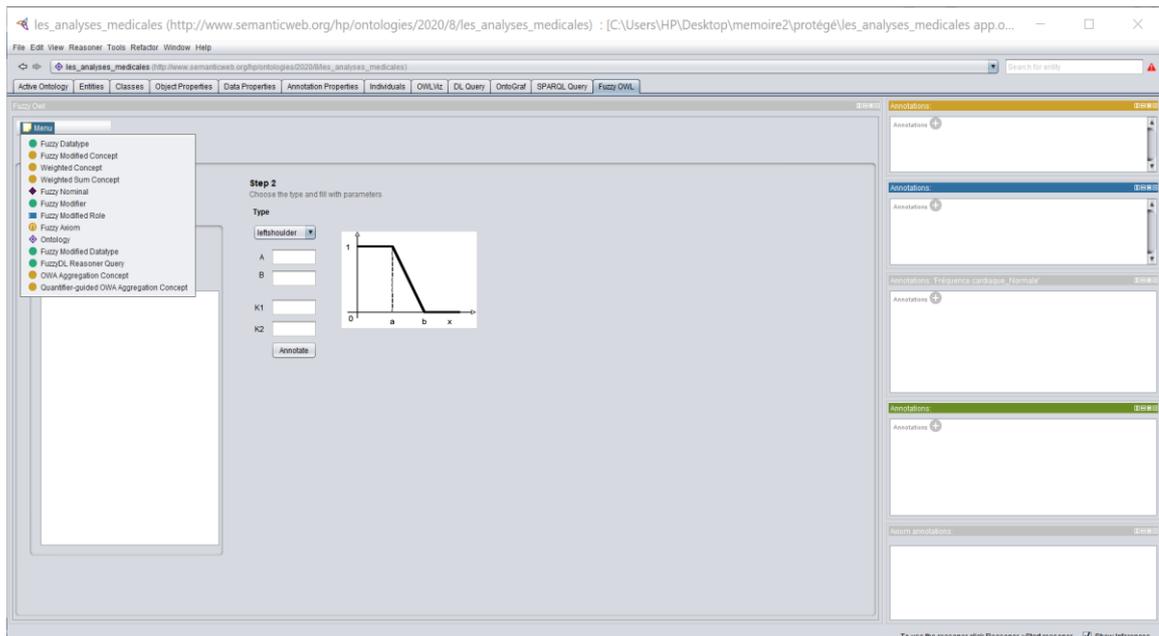


Figure 4. 5 : Menu des options de plugin.

2-2-4- Création d'un type de donnée avec fuzzy owl

Figure 4. 6 illustre comment le plug-in fonctionne en montrant comment créer un nouveau type de données floues. L'utilisateur indique le nom du type de données, et le type de la fonction d'appartenance. Ensuite, le plug-in demande les paramètres nécessaires selon le type. Une image est affichée pour aider l'utilisateur à rappeler la signification des paramètres. Puis,

après quelques vérifications d'erreur de base, le nouveau type de données est créé et peut être utilisé dans l'ontologie.

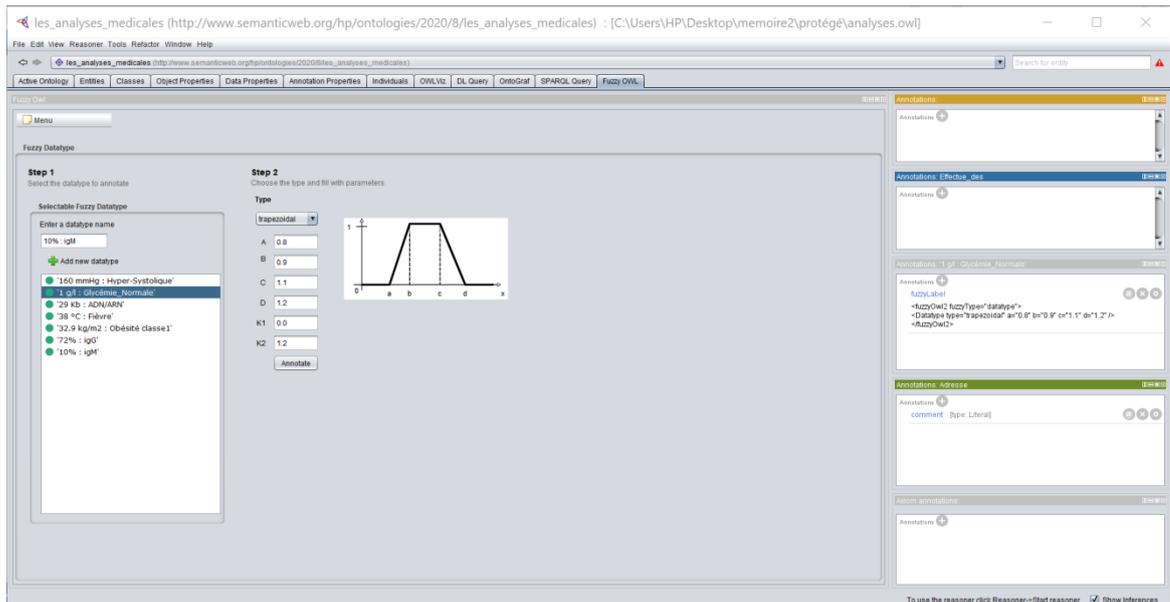


Figure 4. 6 : Création d'un type de donnée avec fuzzy owl.

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

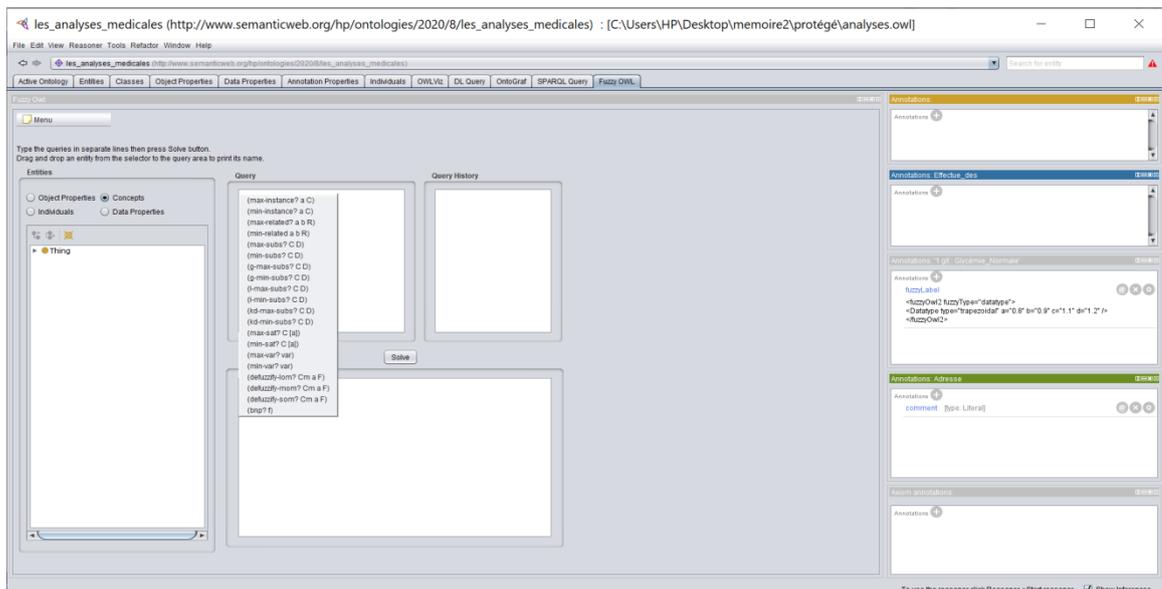


Figure 4. 7 : Des requêtes de fuzzy DL raisonneur.

2-2-5- Le code de langage OWL généré

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"?>
<rdf:RDF xmlns="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#"
  xml:base="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#">
<owl:Ontology
  rdf:about="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales"/>
<!--
  // Annotation properties
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  -->
<!--
  http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#fuzzyLabel -->
<owl:AnnotationProperty
  rdf:about="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#fuzzyL
  abel"/>
<!--
  // Datatypes
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  -->
<!-- http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#Covid-19 -->
<rdfs:Datatype
  rdf:about="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#Covid-
  19"/>
<!--
  // Object Properties
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  -->
<!-- http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#Analyser_par
  -->
<owl:ObjectProperty
  rdf:about="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#Analys
  er_par">
<owl:inverseOf
  rdf:resource="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#Ana
  lyses_des"/>
<rdfs:domain>
<owl:Restriction>
<owl:onProperty
  rdf:resource="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#Ana
  lyser_par"/>
<owl:minQualifiedCardinality
  rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:minQualifie
  dCardinality>
<owl:onClassrdf:resource="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_m
  
```

```

edicales#Analyses"/>
</owl:Restriction>
</rdfs:domain>
<rdfs:range>
<owl:Restriction>
<owl:onProperty
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#Analyser_par"/>
<owl:minQualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:minQualifiedCardinality>
<owl:onClass
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/hp/ontologies/2020/8/les_analyses_medicales#Biologiste"/>
</owl:Restriction>
</rdfs:range>
</owl:ObjectProperty>
    
```

Tableau 4. 1 : Exemple code de langage OWL.

2-2-6- la hiérarchie des classes illustrées

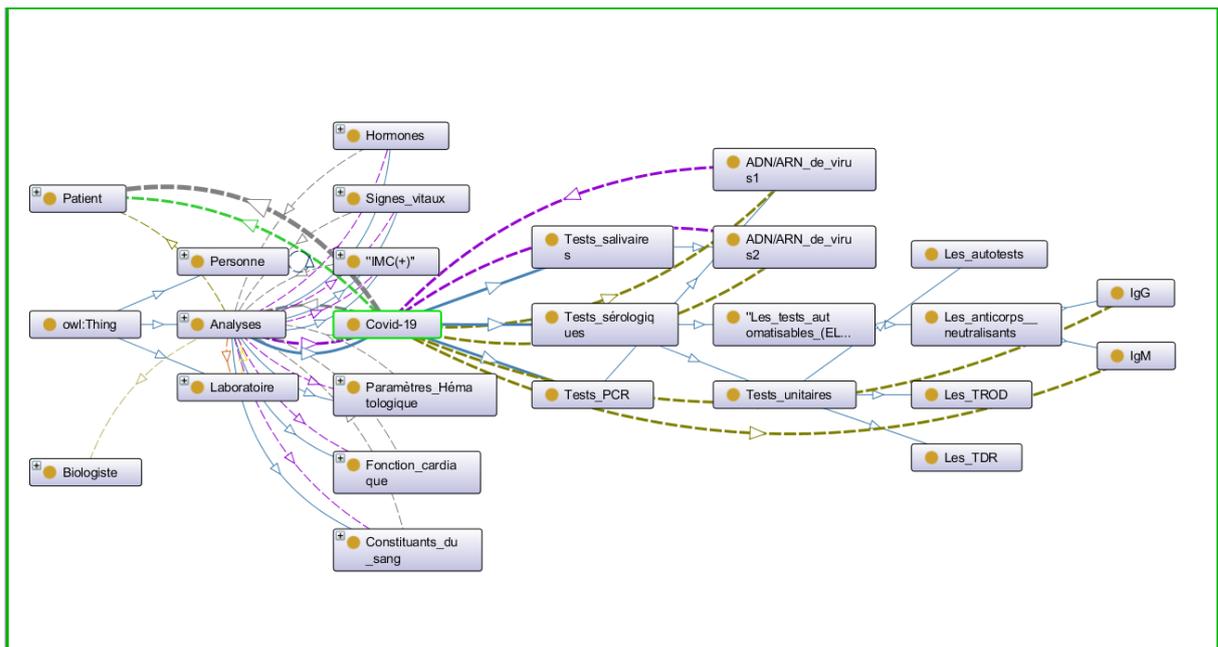


Figure 4. 8 : la hiérarchie des classes avec OntoGraf.

3- Conclusion

Dans ce chapitre nous allons étudier le problème de ce mémoire qui est la construction de l'ontologie floue. Pour y arriver, nous devons d'abord définir le langage de descriptions d'ontologies OWL. Nous avons choisi afin de codifier notre ontologie l'éditeur d'ontologies Protégé-OWL. Finalement, le plugin de fuzzy owl2 est utilisé afin d'ajouter la partie floue et de tester la consistance de l'ontologie.

Conclusion générale

Le concept d'ontologie existe depuis très longtemps, notamment en philosophie. Il est aujourd'hui plus facilement associé à la définition d'un vocabulaire compréhensible par des Machines. Ces vocabulaires/ontologies sont spécifiés avec assez de précision pour autoriser Des relations précises entre des concepts différents. Dans le cadre de tous les domaines, les Ontologies ont un rôle crucial dans le développement.

En effet, elles permettent de réunir un ensemble de termes, d'un domaine précis, Utilisables pour la description (l'annotation) du contenu des tous les sources d'informations accessibles. Nous avons abordé dans ce mémoire, la problématique de la construction d'ontologies dans le cadre de médecine. Les ontologies permettant de représenter les éléments de connaissances communes, ces dernières peuvent être entaches d'imprécision et d'incertitude, ce qui a motivé notre démarche pour opter vers l'utilisation de la logique floue comme modèle de représentation des connaissances au niveau du vocabulaire commun.

En se basant sur plusieurs études qui ont prouvé la grande expressivité des logiques floues, Ainsi que leurs capacités de supporter le raisonnement sur des connaissances vagues et imprécises, l'objectif de notre travail été de la construction d'une ontologie floue.

Pour cela, nous avons essayé de créer, dans ce mémoire, une ontologie floue en se basant sur une LD floue dans laquelle nous avons pris en compte la notion du flou pour assurer la représentation des connaissances du vocabulaire commun qui sont en général des connaissances imprécises dans le domaine des analyses médicales.

Bibliographie

[**ABB 18**] ABBADI Ahmed, Une ontologie floue pour l'aide au diagnostic médical, mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Université de Mohamad Boudiaf Msila, 2018 /2019.

[**AMA 07**] F. Amardeilh. Web Sémantique et Informatique Linguistique : propositions méthodologiques et réalisation d'une plateforme logicielle. Thèse de doctorat, Université Paris X - Nanterre, 2007.

[**AMB 09**] Ambapour, Samuel. "Théorie des ensembles flous : application à la mesure de la pauvreté au Congo." DT 16 (2009) : 2009.

[**AN et al, 06**] Y. An, A. Borgida, and J. Mylopoulos. Discovering the semantics of relational tables through mappings. Journal on Data Semantics VII, pages 1–32, 2006.

[**AQU et al, 04**] D'Aquin, Mathieu, Jean Lieber, and Amedeo Napoli. "Étude de quelques logiques dedescriptions floues et de formalismes apparentés." Rencontres francophones sur la logique floueeet ses applications-LFA'04. Cépadues-Editions, 2004.

[**AYO 12**] Ayouni, Sarra. "Etude et extraction de regles graduelles floues : définition d'algorithmes efficaces." These de doctorat, Université Montpellier 2 (2012).

[**BAA et al, 05**] Baader, Franz, Ian Horrocks, and Ulrike Sattler. "Description logics as ontology languagesfor the semantic web." Mechanizing mathematical reasoning. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005,228-248.

[**BAG et al, 04**] E. Baget, J.F.and Canaud, J. Euzenat, and M.S. Hacid. Les langages du web Sémantique, in le web sémantique.la Revue Information -Interaction - Intelligence (I3), 4(1) :21–43, 2004.

[**BAG 99**] Baghli, Lotfi. Contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de lalogique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques. Diss. Université HenriPoincaré-Nancy I, 1999.

[**BAI et al, 06**] Bai, Ying, and Dali Wang. "Fundamentals of fuzzy logic control—fuzzy sets, fuzzy rules and defuzzifications." Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications. Springer,London, 2006. 17-36.

[**BAN 08**] Banks, Walter. "Linguistic variables : Clear thinking with fuzzy logic." IEEE Toronto Section (2008).

[**BAZ et al, 06**] M. Baziz, M. Boughanem, G. Pasi, H. Prade «A fuzzy logic approach to informationretrieval using an ontology-based representation of documents ». In: Fuzzy Logic and the Semantic Web (E. Sanchez, ed.), Elsevier, 363-377, 2006.

[**BEL 18**] BELOUAAR Houcine, Modélisation d'une approche basée agent et logique floue pour la qualité des services Web, T H È S E Pour obtenir le titre de Docteur en Science, Université Mohamed Khider–Biskra, 2018 – 2019.

- [BEN 05] Benayache Ahcene, Construction d'une mémoire organisationnelle de formation et évaluation dans un contexte e-learning : le projet MEMORAe (2005).
- [BEN et al, 13] Melle.BENMOUFFOK Farida, Melle.HAMANA Badiia, Conception et réalisation d'une ontologie médicale, Mémoire de Master En Informatique Générale Option Administration et Sécurité des Réseaux, Université de Université A/Mira de Béjia, 2013/2014.
- [BER et al, 01] T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila. The semantic web. Scientific American, 2001.
- [BER 19] Bernard ESPINASSE, Introduction aux Logiques de Description (LD) <https://pageperso.lislab.fr/bernard.espinasse/Supports/ONTOWS/LogiquesDescription.pdf>, Consulté le : 28-03-2019,20:20.
- [BOB et al, 11] Bobillo, Fernando, and Umberto Straccia. "Fuzzy ontologies and fuzzy integrals." 2011, 11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. IEEE, 2011.
- [BOU 04] S. Boutemedjet. Web sémantique et eLearning, chapter Cours IFT6251. 2004.
- [BOU 14] Z.Boufaïda. «Cours Web sémantique ». Université Constantine 2 Algérie 2014.
- [CHA et al, 03] Charlet J, Laublet P, and Reynaud C. Web sémantique, Rapport final Action spécifique 32CNRS/STIC, 2003.
- [CHA et al, 14] 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, Université Constantine 2, 2014.
- [CHE et al, 98] Chevie, François, and François Guély. "La logique floue." Cahier technique 191 (1998).
- [DEV et al, 15] 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.
- [DJA 09] 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.
- [DJE 10] Djellal Asma, « Prise en compte de la notion de flou pour la représentation d'ontologies multipoints de vue en logique de descriptions », Thèse pour l'obtention du diplôme de magister en informatique, Université de Mentouri Constantine, Algérie 2010.
- [FOU 05] Fournier-Viger, Philippe. Un modèle de représentation des connaissances à trois niveaux de sémantique pour les systèmes tutoriels intelligents. Université de Sherbrooke, 2005.
- [FUR 02] F. Furst. L'ingénierie ontologique. Technical report, Institut de Recherche en Informatique, 2002. Rapport de recherche N 02-07.
- [GHA 11] M. Ghazouli. Composition des Web Services Sémantiques dans les systèmes Peer-to-Peer. Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine, 2011.

Références bibliographiques

- [GHE 06] 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 Msila, 2016/2017.
- [GHE 14] 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.
- [GHO 12] H.Ghorbel « Fuzzy Protégé for Fuzzy Ontology Models ». MIRACL Laboratory, Faculty of economics and management Sfax, Tunisia. 2012.
- [GRU 93] T.R. Gruber, A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition, (2) :199–220, 1993.
- [GUA 97] N. Guarino. Understanding, building, and using ontologies. International journal of Human and Computer Studies, 45(4/3) :293–310, 1997.
- [HAD 12] 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.
- [HEM 05] M.Hemam. Thèse pour l'obtention du diplôme de magister en informatique « Un processus de développement d'ontologies dans le cadre du Web sémantique ». Université Mentouri Constantine, Algérie 2005.
- [HUD et al, 08] C. Hudelot, J. Atif et I. Bloch. « FSRO : une ontologie de relations spatiales floues pour l'interprétation d'images », (2008), RNTI, vol. 14, pp.55-86.
- [KAU et al, 91] Kauffman, A., and Madan M. Gupta. "Introduction to fuzzy arithmetic : theory and application." (1991).
- [MAN et al, 18] 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.
- [LAD 17] 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 Mohamed Boudiaf Msila, 2017/2018.
- [LEK 08] 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.
- [LEO 97] Leonid, Reznik. "Fuzzy controllers." Newnes 1 (1997) : 1-9.
- [LIN et al, 08] Lin, Chi-Jen, and Wei-Wen Wu. "A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment." Expert Systems with Applications 34.1 (2008) : 205-213.
- [MAA et al, 10] S. Maâlej, H. Ghorbel, A. Bahri, R. Bouaziz, Construction des composants ontologiques flous à partir de corpus de données sémantiques floues, congrès INFORSID, Marseille, mai 2010.

Références bibliographiques

[MAA 10] S.Maâlej « Construction des composants ontologiques flous à partir de corpus de données sémantiques floues ». Laboratoire Miracl Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Sfax. 2010.

[MOU 12] MOUAFFAK Lazhari, Développement d'une Ontologie Floue, MEMOIRE de fin d'étude Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER, UNIVERSITE DE M'SILA, 2012 /2013.

[OLI et al, 03]J. A. Olivas, P. J. Garcés, F. P. Romero. « An application of the FISCRM model to the FISS metasearcher: Using fuzzy synonymy and fuzzy generality for representing concepts in documents ». Int. J. of Approximate Reasoning, 34, 201-219, 2003.

[OMA et al]Omar, Amina S., Mwangi Waweru, and Richard Rimiru. "A Literature Survey : Fuzzy Logic and Qualitative Performance Evaluation of Supply Chain Management." The International Journal Of Engineering And Science (IJES) Volume 4 : 56-63.

[OUA 09]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.

[ROD et al] J-M. Rodrigues, B. Trombert-Paviot, L. Clavel, J-M Very, H. Idir, V. Abria, A. Rector, and R. Baud. Galen : il existe quelque chose après les mots : leur signification et au-delà le savoir médical.

[ROM 09] Elbyed, Abdelatif. ROMIE, une approche d'alignement d'ontologies à base d'instances. Diss.Evry, Institut national des télécommunications, 2009.

[SAL et al, 05]SALOUA Amina, Chettibi Rouibah, Conception d'une ontologie pour une plateforme d'enseignement à distance, pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie informatique option intelligence artificielle, université de Jijel– ingénieur informatique, 2005.

[SET 16] 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.

[SIV et al, 07]Sivanandam, S. N., Sai Sumathi, and S. N. Deepa. Introduction to fuzzy logic using MATLAB. Vol. 1. Berlin : Springer, 2007.

[STI 04] Stisef.org, Le rôle de l'ingénierie ontologique dans le domaine des EIAH(2004).

[STR 05]Straccia, Umberto. "Fuzzy ALC with fuzzy concrete domains." Proceedings of the International Workshop on Description Logics (DL-05). Vol. 147. 2005.

[TEL 11]Michel Tétréault, Modélisation d'une ontologie et conceptualisation d'une applicationsémantique dédiée à l'e-recrutement dans le domaine des technologies de l'information, Mémoire représenté 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.

[TRA et al, 08]Tran, Vuong Xuan, and Hidekazu Tsuji. "QoS based ranking for web services : Fuzzy approaches." Next Generation Web Services Practices, 2008. NWESP'08. 4th International Conference on. Ieee, 2008.

[**TRE et al, 98**]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.

[**WID et al, 01**]D. H. Widyantoro, J. Yen. « A fuzzy Ontology-based Abstract Search Engine and ItsUser Studies ». Texas A&M University, Pennsylvania State University, 2001.

[**WIR 95**]Wierzchon, Slawomir T. "The fuzzy systems handbook. A practitioner's guide to building,using, and maintaining fuzzy systems : by Earl COX; AP Professional; Boston, MA, USA; 1994; xxxix+ 624 pp.; \$49-95; ISBN : 0-12-194270-8." (1995) : 1352-1353.

[**YEN 91**]Yen, John. "Generalizing Term Subsumption Languages to Fuzzy Logic." IJCAI. Vol. 91.1991.

[**YU 07**] L. Yu, Introduction to semantic web and semantic web services. 2007.

[**ZAD 08**] Zadeh, Lotfi A. "Is there a need for fuzzy logic?" Information sciences 178.13 (2008) : 2751-2779.

[**ZAD 88**]Zadeh, Lotfi Asker. "Fuzzy logic." Computer 21.4 (1988) : 83-93.

[**ZAD 97**] Zadeh, Lotfi A. "Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic." Fuzzy sets and systems 90.2 (1997) : 111-127.

Liste des acronymes

Ce glossaire regroupe et donne la définition des principaux termes utilisés dans ce mémoire.

ACF : Acide Folique Normale

ALAT: Alanine Amino Transféré

Al_N : Alcoolémie Normale

ASAT: Aspartate Amino Transféré

B_p : Bradypnée

CPK: Créatine phosphokinase

CPK_N : CPK Normale

DL: Description Logic

Est_Al : Est_Alcoolique

Est_Dia : Est_Diabétique

Est_Hyper_D : Est_HyperDiastolique

Est_Hyper_ther : Est_Hyperthermique

Est_Hypo_D : Est_Hypodiastolique

Est_M : Est_Maigre

Est_O : Est_Obèse

A/A_N: ADN/ARN_Normal

I/I_N : IgG/IgM_Normal

Est_D_I : Est_déjà_infectée

Est_I : Est_infectée

FCN : Fréquence Cardiaque Normale

FSH: Hormone folliculostimulante

FRN : Fréquence Respiratoire Normale

Gly_Nor: Glycémie Normale

H_S: Hyper-Systolique

Hyper_Gly: Hyperglycémie

Hypo_ther : Hypothermie

Hypo_S : Hypo-Systolique

IMC: Indice de Masse Corporelle

Ins_N : Insulinémie Normale

LDH : Lactate deshydrogénase

nRQL: new Racerpro Query Language

PTH: Hormone parathyroïdienne

RACER: Renamed Abox and Concept Expression Reasoner

RDF: Resource Description Framework
RDFS: Resource Description Framework Shema
S_N: Systolique Normale
T_c: Tachycardie
TCN: Température corporelle Normale
Tc_N: Temps de coagulation Normal
Tri_N: Triglycérides Normale
TSH: Hormone de thyroestimuline
TSH_N: TSH Normale
U_N: Uricémie Normale
DAML+OIL: Darapa Agent Markup Language OIL
OIL: Ontology Inference Layer
OWL: Ontology Web Language
OWL DL: Ontology Web Language Description Logique
AL C: Attributive Language Complémentation
LDs: Les Logiques de Descriptions
A-Box: Assertion Component
ARN: L'acide Ribonucléique
T-Box: Terminological Component
UML: Unified Modeling Language
MF: Membership function
URI: Uniform Resource Identifier
URL: Uniform Resource Locator
W3C: World Wide Web Consortium
XML: Extensible Markup Language
MDA: Model-DrivenArchitecture
UMLS: UnifiedMedicalLanguageSystem
SMI: StanfordMedicalInformatics
Covid-19: CoronaVirus Desease 2019
PCR: *Polymerase Chain Reaction*
TDR: test de diagnostique rapide
TROD: test rapide d'orientation diagnostique
ADN: Acide DésoxyriboNucléique
IgG: Immunoglobuline de type G
IgM: Immunoglobuline de type M
ELISA: Enzyme-Linked Immunosorbent Assay