
AlzFuzzyOnto : Une ontologie floue pour l'aide à la décision dans le domaine de la maladie d'Alzheimer

Firas Zekri¹, Emna Turki², Rafik Bouaziz¹

1. Université de Sfax, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Sfax, Laboratoire MIR@CL

Route de l'Aéroport km 4, B.P. 1088, 3018 Sfax, Tunisie
firas3112@gmail.com ; raf.bouaziz@fsegs.rnu.tn

2. Université de Sfax, Faculté de médecine de Sfax, Hôpital Hedi Cheker
turki_em@yahoo.fr

RESUME. La lutte contre la Maladie d'Alzheimer (MA) est devenue un enjeu majeur. Nous visons à contribuer à cette lutte en cherchant à fournir des moyens logiciels adéquats pour aider les décideurs du domaine de la MA dans le choix de la décision optimale pour chaque situation donnée. Par ailleurs, il est maintenant reconnu que les ontologies floues sont des outils utiles pour la représentation des connaissances précises et floues et pour le raisonnement sur ces connaissances. Ainsi, nous proposons dans cet article une ontologie floue de domaine, appelée « AlzFuzzyOnto », relative aux concepts spécifiques de la MA. Cette ontologie permet une représentation sémantique des données médicales relatives au diagnostic et à la prise en charge de la MA, tout en prenant en considération les incertitudes et les imprécisions y afférentes. A cet effet, nous avons utilisé l'ontologie **Mind**, comme ontologie noyau de domaine initiale, dans le processus de construction de l'ontologie « AlzFuzzyOnto », que nous avons standardisée pour faciliter l'intégration des bases de règles.

ABSTRACT. The fight against Alzheimer's disease (AD) has become a major issue. We aim to contribute to this fight by seeking to provide adequate software to assist decision makers in the field of AD to choose the optimal decision for each situation. Moreover, it is now recognized that fuzzy ontologies are useful tools for the representation of crisp and fuzzy knowledge and reasoning on it. Thus, we propose in this paper a fuzzy ontology called "AlzFuzzyOnto", related to the AD concepts. This ontology enables semantic representation of medical data for diagnosis and support of AD, while taking into account the uncertainties and inaccuracies associated with this disease. To this end, we used the **Mind** ontology, as initial core ontology, in the building process of the ontology "AlzFuzzyOnto", which we have standardized to facilitate the integration of rule bases.

MOTS-CLÉS : Maladie d'Alzheimer, Ontologie floue, Logique floue, Mind, AlzFuzzyOnto.

KEYWORDS : Alzheimer Disease, Fuzzy ontology, Fuzzy logic, Mind, AlzFuzzyOnto.

1. Introduction

La Maladie d'Alzheimer (MA) est la plus fréquente des maladies neurodégénératives, c'est-à-dire les maladies liées à une détérioration irréversible du fonctionnement des cellules du système nerveux. C'est pourquoi la lutte contre la MA est devenue un enjeu majeur aussi bien dans les pays développés que dans les pays en cours de développement, où le progrès de la médecine a prolongé la durée de vie de la population. La MA affecte 10% de la population âgée (Pleckaityte, 2010) et touche aujourd'hui près de 35,6 millions de personnes dans le monde. Ce nombre doublera d'ici 2030 (Alzheimer Association, 2012). Notons par ailleurs qu'en Tunisie, son coût de traitement varie entre 3000 et 6000 dinars tunisien (entre 1400 et 2843 euros) par an et par personne¹. Alors, l'impact socio-économique de la MA est énorme et les tentatives pour réduire cet impact sont en cours de recherche (Monien *et al.*, 2009). Par conséquent, la détection de la MA et la recherche de techniques informatiques de diagnostics plus fiables et de thérapies plus efficaces constituent un axe de recherche important et récent.

En effet, l'informatique a su apporter une aide appréciable pour la prise de décision dans divers domaines, y compris celui de la médecine. En effet, la limitation des compétences humaines, l'explosion des connaissances médicales et la complexité et les incertitudes de la maladie contribuent à de grandes variations dans la pratique clinique, à des erreurs cliniques et à un mauvais respect des guidelines. Il est tout simplement irréaliste de croire que les soins des maladies (y compris la maladie d'Alzheimer) peuvent continuer à être délivrés sans l'adoption des sciences de l'information. 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 pour aider à un diagnostic médical proche de la réalité et du raisonnement humain.

Dans cet article, nous définissons une ontologie, appelée « AlzFuzzyOnto », qui permet de représenter et manipuler les connaissances et les données relatives au diagnostic et à la prise en charge de la MA, tout en prenant en considération les aspects flous (imprécisions et incertitudes) qui peuvent être présents dans la démarche clinique de cette maladie.

La suite de l'article est structurée comme suit. La section suivante situe notre positionnement par rapport à l'état de l'art. Nous consacrons la section 3 à présenter la méthode de construction de l'ontologie « AlzFuzzyOnto ». Ensuite, nous présentons dans les sections 4 et 5 les différentes étapes de construction de notre ontologie. Enfin, dans la section 6, nous terminons par une conclusion et des perspectives futures.

1. Ajroudi H., « Pour une stratégie contre la MA », Article publié dans le journal quotidien tunisien « le temps » le 23 septembre 2010.

2. Etat de l'art et positionnement

Une ontologie est définie comme « une spécification explicite d'une conceptualisation » (Gruber, 1993). C'est un outil important pour la modélisation, le partage et la réutilisation des connaissances. Elle permet aux connaissances d'un domaine d'être représentées explicitement par les concepts et les relations entre eux, et donc de les manipuler automatiquement. Compte tenu de son caractère prometteur, elle est utilisée dans différents domaines de recherche en informatique, telles que la gestion des connaissances, l'intégration des données et la recherche d'information. En ce qui concerne la MA, un nombre important d'ontologies ont été présentées dans la littérature durant ces dernières années, touchant ses différents aspects. Nous pouvons classer ces ontologies en trois catégories :

- Ontologies relatives à la MA, destinées à la recherche d'information :

L'ontologie **OntoAD**, proposée dans (Dramé *et al.*, 2014), est une ontologie de maladie, bilingue (anglais-français), qui modélise des connaissances sur la MA et les syndromes apparentés. Elle est construite à partir de ressources textuelles et termino-ontologiques destinées à l'annotation sémantique et la recherche d'information des documents textuels. La méthode de construction combine deux approches : apprentissage d'ontologie à partir des textes et réutilisation des ressources terminologiques existantes. L'ontologie **ADO**, présentée dans (Malhotra *et al.*, 2014), est une ontologie représentant des caractéristiques cliniques, des traitements, des facteurs de risque, et d'autres aspects des connaissances actuelles dans le domaine de la MA. Son principal objectif est de développer un cadre sémantique pour une représentation interopérable et standardisée des connaissances dans le domaine d'Alzheimer. L'ontologie **CADRO** (*Common Alzheimer's Disease Research Ontology*), présentée dans (Refolo *et al.*, 2012), est un système de classification destiné à intégrer et analyser les différents portefeuilles de recherche de la MA à partir des organismes publics et privés travaillant dans le domaine à travers le monde. Bien que les buts de cette ontologie soient plus larges que les nôtres, notre travail sur la modélisation des tests et de la prise en charge pourrait être inclus dans les catégories B (*Diagnosis, Assessment and Disease Monitoring*) et E (*Care, Support and Health Economics of Alzheimer's Disease*) de l'ontologie CADRO. De plus, en contactant les développeurs de cette ontologie, nous avons appris qu'elle n'est pas encore opérationnalisée.

OntoAD, ADO et CADRO sont, par nature, des ontologies spécialement orientées vers une représentation supérieure de la formalisation des termes, rendant leur utilisation une sorte de problématique dans un scénario du monde réel.

- Ontologies relatives à la MA, destinées à la standardisation des termes :

L'ontologie SNOMED CT (Systematized Nomenclature of Medicine Clinical Terms), élaborée par *International Health Terminology Standards Development Organisation* (IHTSDO) en 2007, est une terminologie clinique détaillée qui permet d'explicitier un contenu clinique et une expressivité pour la documentation et

les rapports cliniques. Elle présente le noyau général des terminologies cliniques pour le dossier de santé électronique (DSE) et décrit, d'une manière standard, les différents concepts cliniques, telles que les maladies et les procédures. SNOMED CT est utilisée pour des buts de normalisation, par exemple lors de l'intégration d'une ontologie récemment développée (ontologie de domaine) avec un standard sémantique, la réutilisation de l'ontologie de domaine par des organismes tiers est possible (Toro *et al.*, 2009).

UMLS (Unified Medical System Language) est principalement composé de deux ressources sémantiques : le Meta-thesaurus et le réseau sémantique (Bodenreider, 2004). UMLS Meta-thesaurus est un réseau sémantique contenant plus de deux millions de concepts, construit par l'intégration de 161 terminologies (dans la version 2012AA) et d'ontologies biomédicales (y compris SNOMED CT). Chaque concept Meta-thesaurus est un ensemble de termes synonymes, éventuellement défini dans différentes langues (le Meta-thesaurus est multilingue), avec un identifiant unique (Concept Identificateur - CUI) qui est parfois associé à des définitions textuelles. Ces concepts sont reliés par différents types de relations, dont la plupart sont dérivées de terminologies source. Ces relations sémantiques sont taxonomiques ou non taxonomiques, et certaines d'entre elles sont définies à partir d'un point de vue logique (c'est-à-dire, elles sont étiquetées comme *is_a*, *finding_site_of*, *part_of*, etc.).

Nous avons utilisé les ontologies **SNOMED CT** et **UMLS Meta-thesaurus** comme des standards, où chaque concept utilisé dans notre ontologie, est issu de ces dernières. Cette standardisation va permettre la réutilisation de notre ontologie de domaine par plusieurs organismes tiers, puisque elle va être compatible (en raison des termes standards utilisés) avec la plupart des moteurs d'inférences. Cependant, une liaison avec ces ontologies est un travail intéressant, et nous allons prochainement l'aborder.

- Ontologies relatives à la MA, destinées au stockage des connaissances cliniques et au raisonnement sur ces connaissances :

La seule ontologie trouvée concernant cette catégorie est l'ontologie **Mind** qui est développé dans le cadre du projet **MIND** par Sanchez *et al.* en 2011. Cette ontologie modélise les tests effectués sur les patients (par exemple, neuropsychologiques, neurologiques, radiologiques, métaboliques et génétique) afin de générer des résultats de diagnostics pour la MA. Cependant, elle est limitée seulement au diagnostic et elle ne comprend pas les connaissances relatives à la partie « prise en charge » de la maladie. En effet, la prise en charge constitue un stade important et nécessite une aide à la décision. De plus, et en raison de problèmes de propriété et de confidentialité du projet industriel, les auteurs ont présenté une brève description de l'ontologie **Mind** au lieu de discuter en profondeur de ses détails, ce qui rend difficile de l'utiliser comme une ontologie noyau par les chercheurs. C'est pourquoi nous n'avons utilisé que la version brève publiée de l'ontologie **Mind**, et nous avons essayé de l'étendre en une ontologie

plus vaste. En fait, nous voulons ajouter à cette ontologie un module capable d'assurer la représentation des connaissances relatives à la prise en charge de la MA. Le tableau 1 récapitule toutes les ontologies présentées dans l'état d'art.

Tableau 1. Un tableau récapitulatif comparatif des différentes ontologies

Ontologie	Points positifs	Points négatifs
OntoAD	<ul style="list-style-type: none"> - Ontologie bilingue - Elle combine deux approches : <ul style="list-style-type: none"> • apprentissage d'ontologie à partir des textes • réutilisation des ressources terminologiques existantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne peuvent pas être utilisées dans un scénario du monde réel
ADO	<ul style="list-style-type: none"> - Elle représente : <ul style="list-style-type: none"> • des caractéristiques cliniques • des traitements • des facteurs de risque 	
CADRO	<ul style="list-style-type: none"> - Destiné à intégrer et analyser les différents portefeuilles de recherche de la MA 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne peut pas être utilisée dans un scénario du monde réel - N'est pas encore opérationnalisée
SNOMED CT	<ul style="list-style-type: none"> - C'est une terminologie clinique détaillée - Elle présente le noyau général des terminologies cliniques pour le dossier de santé électronique (DSE) - Elle décrit, d'une manière standard, les différents concepts cliniques, telles que les maladies et les procédures 	<ul style="list-style-type: none"> - Elles sont utilisées seulement pour des buts de normalisation
UMLS	<ul style="list-style-type: none"> - Elle contient plus de deux millions de concepts. 	
MIND	<ul style="list-style-type: none"> - Elle modélise les tests effectués sur les patients - Elle permet de générer des résultats de diagnostics pour la MA 	<ul style="list-style-type: none"> - Elle est limitée seulement au diagnostic - elle ne comprend pas les connaissances relatives à la partie « prise en charge » de la maladie

3. Méthode de construction de l'ontologie « AlzFuzzyOnto »

Les concepts d'une ontologie peuvent appartenir à différents niveaux d'abstraction. Parmi ces niveaux, on peut trouver des ontologies noyaux de domaines et des ontologies de domaines.

- Ontologie noyau de domaine : à un niveau haut, les ontologies « noyaux » de domaines (Gangemi *et al.*, 2004) définissent, pour chaque domaine concerné, un ensemble minimal de concepts génériques et centraux (par exemple, dans le domaine médical : organe, maladie, inflammation).
- Ontologie de domaine : au niveau le plus spécifique, les ontologies noyaux de domaines sont à leur tour affinées pour définir, par spécialisation, des concepts spécifiques de domaines (par exemple, dans le domaine des maladies, maladie cardiaque, maladie pulmonaire).

Comme point de départ, (1) nous avons utilisé la version publiée de l'ontologie **Mind** comme une **ontologie noyau de domaine** initiale qui représente seulement les concepts génériques nécessaires pour le diagnostic de la MA. Deuxièmement, (2) nous avons étendu cette dernière selon deux étapes (cf. figure1) : (i) la première étape a consisté à ajouter des concepts et des relations supplémentaires de haut niveau permettant un diagnostic plus efficace de la MA, y compris la détermination du degré de sévérité de la maladie chez le patient en question et la prise en charge de la MA, ce qui permet une représentation sémantique des différentes thérapies possibles. Nous avons obtenu comme résultat une ontologie noyau de domaine étendue. Puis, (ii) nous avons ajouté des concepts et des relations spécialisant les concepts et les relations déjà définis. Ceci a résulté en une **ontologie de domaine étendue**. La troisième étape a consisté à (3) recenser, à l'aide d'experts du domaine, les points d'incertitude et d'imprécision présents dans chaque concept et chaque relation de l'ontologie pour générer des concepts flous et des relations floues permettant de représenter les informations et les données floues.

Nous sommes donc passés d'une ontologie de domaine étendue à une **ontologie de domaine étendue et floue**. Il faut noter que la collection des termes et des concepts liés à la MA a été généré, premièrement, par la numérisation de diverses sources de connaissances, y compris « Guideline for Alzheimer's Disease Management » (California Workgroup, 2008) et « Maladie d'Alzheimer – Enjeux scientifiques, médicaux et sociétaux » (Expertise collective, 2007) et deuxièmement, par les experts du domaine. De plus, tout concept utilisé dans l'ontologie « AlzFuzzyOnto » a été dégagé des deux ontologies SNOMED CT et UMLS Meta-thesaurus, pour aboutir à une ontologie standard et normalisée. En effet, nous avons vérifié chaque concept, ajouté à notre ontologie, est ce qu'il existe ou non dans ces deux dernières. Sinon, on utilise le terme existant équivalent à ce concept. La figure 1 présente la méthode suivie pour la construction de notre ontologie.

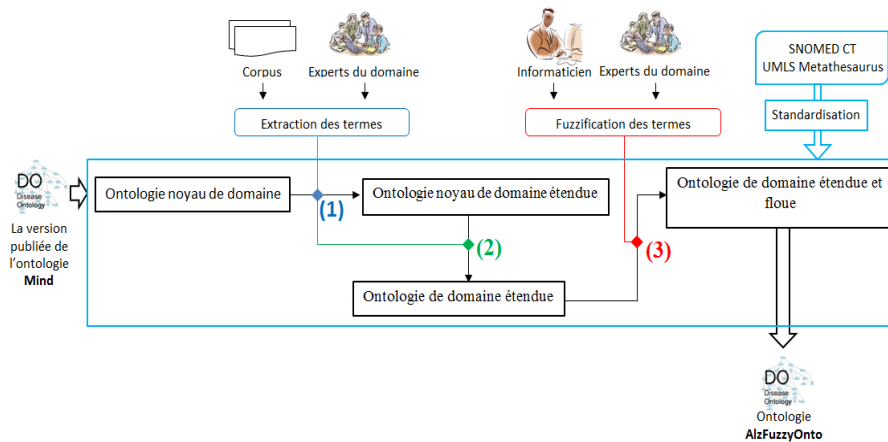


Figure 1. Méthode de construction de l'ontologie « AlzFuzzyOnto »

4. Extension de l'ontologie noyau de domaine Mind (Etape 1)

L'ontologie **Mind** est destinée à collecter et représenter sémantiquement les données cliniques relatives au diagnostic de la MA (Sanchez *et al.*, 2011). En effet, il existe sept classes dans cette ontologie qui sont : *Doctor*, *Patient*, *Diagnosis* (Diagnostic), *Enrollment* (Inscription), *FollowUp* (Suivi), *Test* et *TestValue* (cf. figure 2). La classe *Test* est la superclasse des différents tests appliqués, et tout nouveau test sera considéré comme une sous-classe de cette classe. La classe *Test* est liée à la classe *Patient* à travers la relation *correspondingPatient*, et avec la classe *Doctor* via la relation *orderingDoctor* et en même temps avec la classe *FollowUp* avec la relation *correspondingFollowUp*.

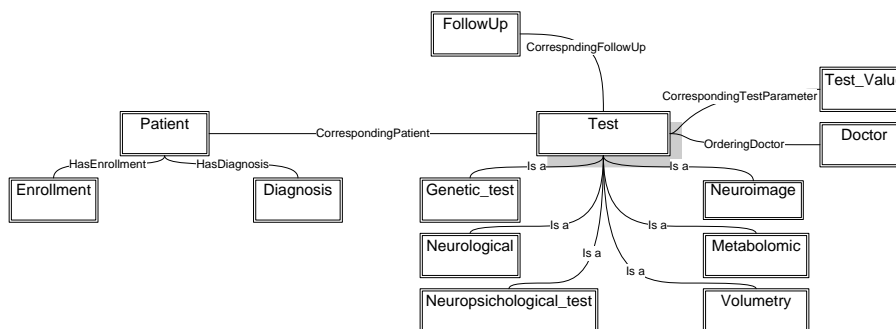


Figure 2. Vue d'ensemble de l'ontologie **Mind** (Sanchez *et al.*, 2011)

Les classes *Diagnosis* et *Enrollment* sont liées à la classe *Patient*, respectivement à travers les relations *hasDiagnosis* et *hasEnrollment*. Nous considérons que la classe

Diagnosis représente seulement le résultat du diagnostic. Les instances de la classe *TestValue* sont les données recueillies dans les interfaces graphiques. Par conséquent, *Test* et *TestValue* sont liés aux propriétés qui font référence à ces paramètres dans les interfaces graphiques. En d'autres termes, ce sont les résultats des différents tests effectués.

Une extension, pour ce qui est présenté dans la version publiée de l'ontologie **Mind**, est requise du fait que nous avons besoin d'intégrer d'autres concepts qui s'avèrent nécessaires pour un diagnostic plus fiable et pour prendre en considération la prise en charge de la MA. Les classes *Questioning* (Interrogatoire), *Symptoms* (Symptômes) et *Entourage* représentent les concepts généraux ajoutés à l'ontologie **Mind** pour ce qui concerne le diagnostic de la MA. Les classes *Therapies* (Thérapies), *Phase* et *Current_state* (Etat actuel) représentent les concepts généraux ajoutés pour ce qui concerne la prise en charge de la MA. *Questioning* est la superclasse des différentes données anamnestiques relatives à chaque patient enregistré (les données épidémiologiques, les antécédents familiaux de démence, l'âge d'apparition des premiers troubles cognitifs, etc.). Elle est liée à la classe *Patient* à travers la relation *correspondingQuestioning*. *Symptoms* est la superclasse des différents types symptomatiques que le patient peut avoir durant les différents stages de la MA (Dépressions, Apathie, Hallucinations, etc.). Elle est liée à la classe *Patient* à travers la relation *HasSymptoms*. *Entourage* est la classe qui représente les différents types des aidants du patient en question. Les connaissances relatives à ces personnes d'entourage aident à bien apprécier la situation de la personne malade. Cette classe est liée à la classe *Patient* à travers la relation *Caregivers(Aidants)*. *Therapies* est la superclasse de toutes les procédures thérapeutiques possibles pour une personne infectée par la MA. Elle liée à la classe *Patient* à travers la relation *HasTherapies*. La classe *Phase* représente le degré de sévérité de la MA du patient en question. Elle est liée à la classe *Patient* à travers la relation *In*. Enfin, la classe *Current_State* représente l'état actuel du patient et elle est liée à la classe *Patient* à travers la relation *HasCurrentState*. La figure 3 représente le schéma ontologique résultant de l'intégration des classes ci-dessus dans l'ontologie **Mind**.

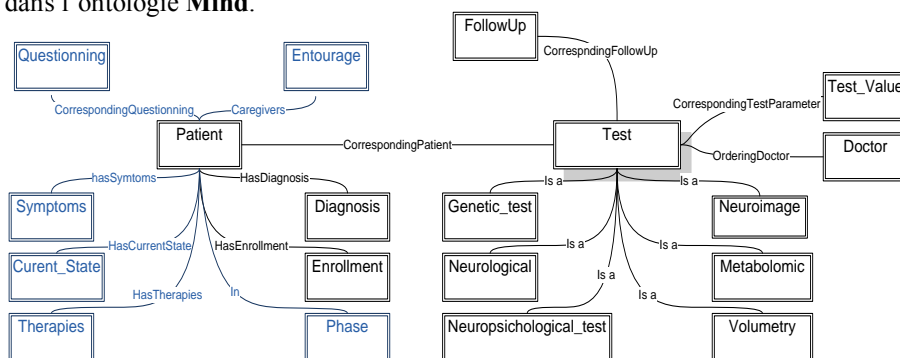


Figure 3. Schéma ontologique de la nouvelle ontologie noyau de domaine

5. Ontologie de domaine pour la MA

5.1 Ontologie de domaine précise (Etape 2)

Pour générer une ontologie de domaine pour la MA, nous avons suivi deux étapes. La première étape consiste à dégager les concepts de niveau hiérarchique plus bas déclinant les concepts généraux présentés dans l'ontologie **Mind**. Par exemple, nous avons intégré toutes les classes possibles relatives à la classe *Neuropsychological* (Neuropsychologique) qui représentent l'ensemble des tests neuropsychologiques effectués sur le patient en question. La deuxième étape consiste à dégager les concepts spécialisant les nouveaux concepts généraux ajoutés à l'ontologie initiale **Mind**. Par exemple, nous avons intégré toutes les classes possibles relatives à la classe générale *Therapies* qui représentent l'ensemble des traitements et des thérapies pharmacologiques et non-pharmacologiques (cf. figure4).

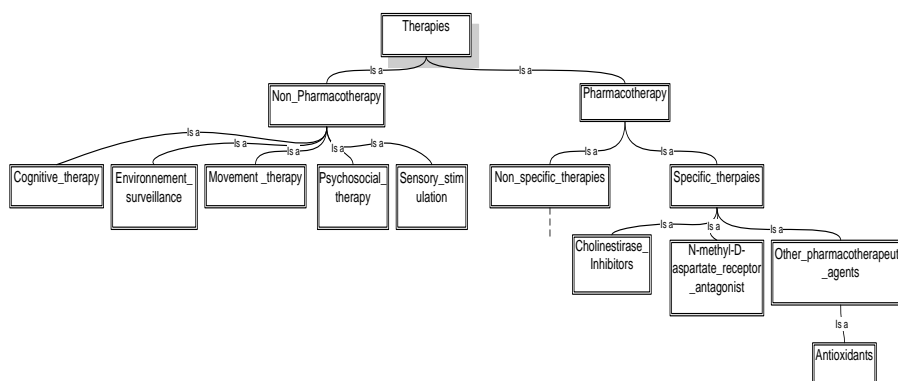


Figure 4. Schéma ontologique du concept « Therapies »

5.2 Fuzzification des termes (Etape 3)

Il existe dans la MA un nombre important de termes (désignant des concepts) qui constituent une source d'imprécision et d'incertitude, que ce soit au niveau de diagnostic ou au niveau de la prise en charge. En effet, rien n'est certain dans la MA. Pour remédier à ce problème, nous avons ajouté des classes floues et nous avons lié ces dernières aux concepts déjà définis en utilisant la relation floue de fuzzification. Une relation de fuzzification est une relation d'héritage entre un concept précis et des concepts flous. Cette relation de fuzzification permet de transformer au moins une propriété sous forme d'une variable linguistique en précisant sa fonction d'appartenance et ses attributs (Ghorbel *et al.*, 2011). Nous avons fuzzifié la classe *Patient* selon l'âge (Adulte, âgé, très âgé), la classe

Pharmacotherapy selon la quantité des doses prescrites (petite dose, moyenne dose, grande dose), la classe *Non-Pharmacotherapy* selon la durée du traitement non pharmacologique (Court terme, moyen terme, long terme), la classe *symptoms* selon l'intensivité des symptômes (Léger, modéré, sévère), la classe *Current-state* selon la sévérité de l'état du patient (Léger, modéré, sévère) et la classe *Diagnosis* selon le degré de certitude du diagnostic (Non pathologique, peut-être pathologique, pathologique). Concernant les relations, nous avons recensé une relation floue qui est *In*. Elle est pondérée selon le score MMSE (Mini Mental State Examination) du patient en question (In Phase1, In Phase2, In Phase3, In Phase4). Pour réaliser ces fuzzifications, nous avons utilisé les quatre fonctions d'appartenance présentées dans la figure 5 (Zadeh, 1975).

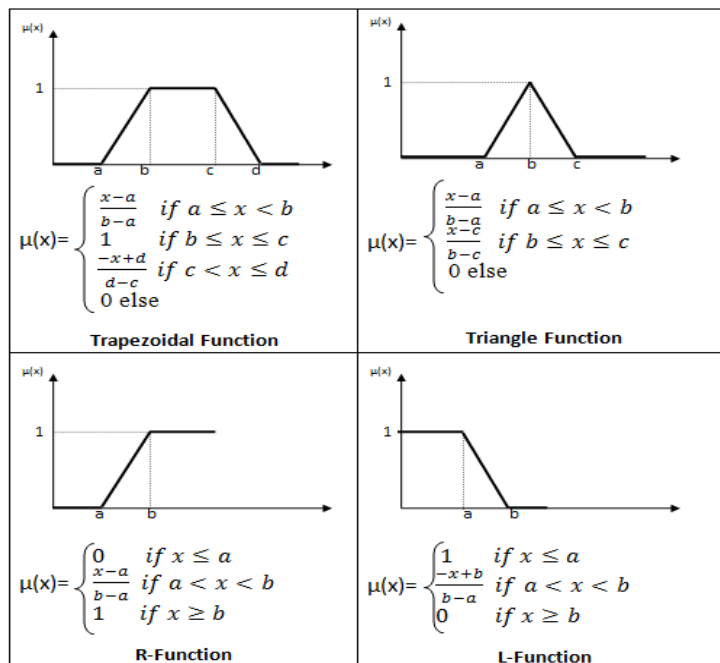


Figure 5. Les fonctions d'appartenance de la logique floue

Dans ce papier nous avons présenté, comme exemple, la fuzzification de la classe *Patient* et la fuzzification de la relation *In*. Toutes les valeurs, présentées dans ce qui suit, sont validées par nos experts.

Le concept *Patient* est identifié comme une classe floue selon la variable linguistique « Age ». Il est important de savoir le degré de vieillesse du malade pour un diagnostic et une prise en charge plus fiable. En effet, un patient adulte qui est dans la phase 3 de la MA est un cas très spécifique. Par conséquence, la classe

Patient est fuzzifiée en trois classes floues qui sont : *Elderly-Patient* avec une fonction d'appartenance monotone décroissante qui a comme paramètres $a= 55$ et $b = 60$, *Old-Patient* avec une fonction d'appartenance trapézoïdale qui a comme paramètres $a= 55$ et $b = 60$, $c = 70$ et $d = 75$ et *Very-Old-Patient* avec une fonction d'appartenance monotone croissante qui a comme paramètres $a= 70$ et $b = 75$. La figure 6 présente les fonctions d'appartenances des trois classes floues dégagées.

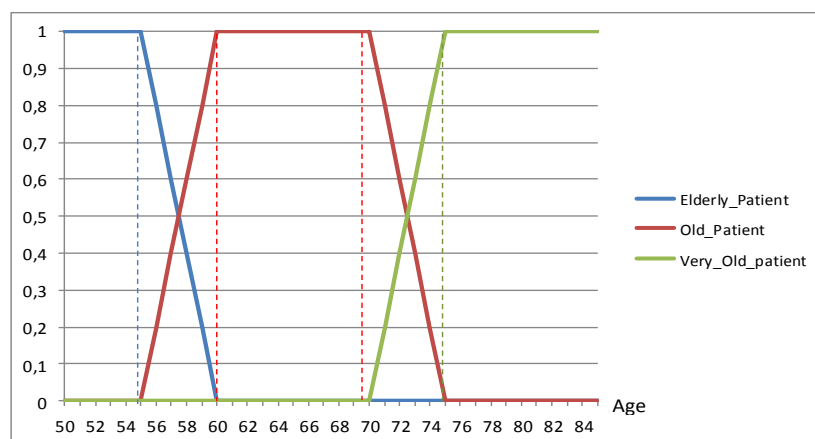


Figure 6. Les fonctions d'appartenances des classes floues du concept « Patient »

Un patient qui a un âge de 73 ans, par exemple, est considéré comme personne âgée (Old-Patient) avec un degré d'appartenance égal à 0,4. Il est aussi considéré comme personne très âgée (Very-Old-Patient) avec un degré d'appartenance égal à 0,6. Il n'est pas considéré comme un patient adulte (Elderly-Patient).

Une relation floue est définie 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 la relation (Ghorbel *et al.*, 2008 ; Ghorbel *et al.*, 2011). La relation *In* est identifiée comme une relation floue puisqu'il est difficile de déterminer la phase exacte de la MA concernant le patient en question. En effet, les tests effectués sur une personne malade peuvent donner des résultats approximatifs sur le degré de sévérité de la maladie. De plus, un patient peut être entrain de changer d'une phase à une autre, donc il peut appartenir à deux phases en même temps. En fait, il existe de nombreuses classifications des différents stades de la MA. Néanmoins, nous considérons qu'il existe quatre formes de MA en fonction du score MMSE du patient, sachant que le stade de démence varie selon le score MMSE. Ainsi, si on prend l'exemple d'un patient ayant un niveau scolaire supérieur, la démence est en stade léger si le score de MMSE est entre 20 et 26, en stade modéré si le score de MMSE est entre 10 et 19, en stade sévère si le score de

MMSE ≤ 9 et en stade terminal si le score de MMSE est de valeur très basse. Par conséquent, la relation *In* est fuzzifiée en quatre relations floues où chaque relation a sa propre fonction d'appartenance. La figure 7 présente la fuzzification de la relation *In*.

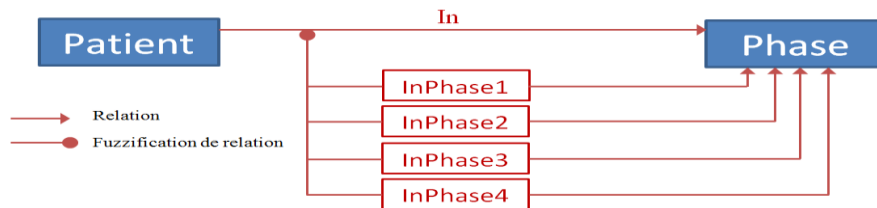


Figure 7. Fuzzification de la relation « In »

La relation *InPhase1* a une fonction d'appartenance monotone croissante qui a comme paramètres $a = 18$ et $b = 22$. La relation *InPhase2* a une fonction d'appartenance trapézoïdale qui a comme paramètres $a = 8$, $b = 12$, $c = 18$ et $d = 22$. La relation *InPhase3* a une fonction d'appartenance trapézoïdale qui a comme paramètres $a = 2$, $b = 4$, $c = 8$ et $d = 12$. Finalement, la relation *InPhase4* a une fonction d'appartenance monotone décroissante qui a comme paramètres $a = 2$ et $b = 4$. La figure 8 présente les différentes fonctions d'appartenance de ces relations.

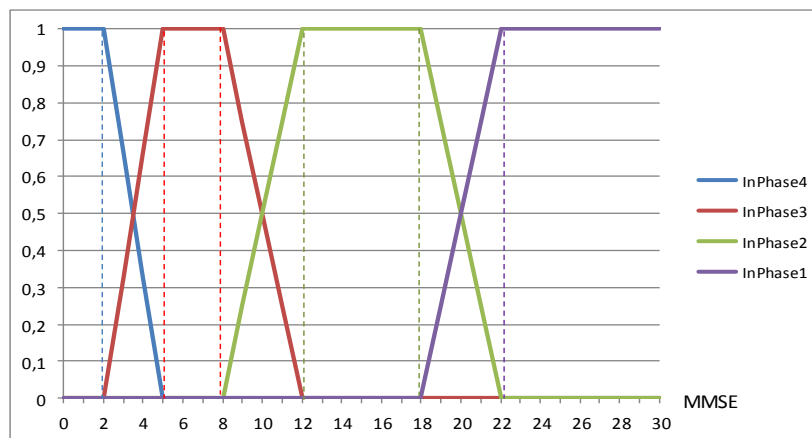


Figure 8. Les fonctions d'appartenance des relations floues

Dans une utilisation future de l'ontologie « AlzFuzzyOnto », chaque instance appartenant à l'une des classes va avoir un degré d'appartenance relatif à la fonction d'appartenance de l'entité à laquelle elle appartient. Toutes les relations « In » doivent être pondérées selon le score MMSE des instances du concept

« Patient » qui utilisent cette relation. Par exemple, l'instance « Patient001 » qui a comme score MMSE égale à 19 doit avoir : (1) une relation « In » avec l'instance « Phase1 » pondérée à $(19 - 18) / (22 - 18) = 0,25$, (2) une relation « In » avec l'instance « Phase2 » pondérée à $(-19 + 22) / (22 - 18) = 0,75$, (3) aucune relation avec l'instance « Phase3 » et l'instance « Phase4 ».

5.3 Opérationnalisation de l'ontologie « AlzFuzzyOnto »

L'ontologie « AlzFuzzyOnto » est implémentée en utilisant l'éditeur d'ontologie *PROTEGE* version 4.3. Les classes et les relations floues, y compris leurs fonctions d'appartenance, ont été intégrées à notre ontologie en utilisant le plugin *Fuzzy OWL2* élaboré par Fernando Bobillo et Umberto Straccia en 2011. En effet, *Fuzzy OWL Tab* dans *PROTEGE* permet de présenter les classes et les relations floues sous forme d'annotations. La figure 9 présente un exemple d'annotation floue « fuzzyLabel ». Le *Datatype* floue « OldAge » est le type de la propriété floue « Old_Age » de la classe floue « Old-Patient ». Elle est annotée avec une fonction d'appartenance trapézoïdale qui a comme paramètres $a = 55$, $b = 60$, $c = 70$ et $d = 75$. Ici, le type de la propriété « Old-Age » n'est pas « integer » mais « OldAge ». C'est-à-dire que chaque instance appartenant à la classe floue Old-Patient a un degré d'appartenance à cette classe en utilisant la fonction définie dans l'annotation.

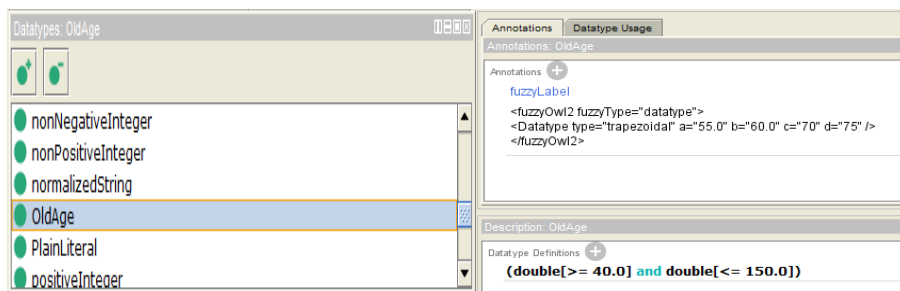


Figure 9. Annotation sur le Datatype « OldAge »

6. Utilité de la logique floue dans l'ontologie « AlzFuzzyOnto »

L'utilisation des technologies sémantiques, et tout particulièrement les ontologies, peut réduire les coûts de la santé: Parce que fournir aux médecins des outils, qui résument les données et les connaissances pertinentes dans une seule page pour une certaine décision, accélère le processus de prise de décision (Sanchez, 2014). À cet effet, notre ontologie floue est intégrée dans un system expert flou d'aide à la décision pour la MA (Zekri *et al.*, 2014). Sa capacité de représenter et stocker des connaissances floues sur la MA a permis de l'intégrer

avec un moteur d'inférence flou. Par conséquence, ce system devient capable d'inférer de nouvelles connaissances et d'aider à la décision en prenant en considération l'incertitude et l'imprécision présentes dans la MA. En effet, notre ontologie joue le rôle d'une base de fait floue dans ce system. Dans ce qui suit, nous allons donner un exemple qui montre l'utilité de la logique floue dans notre ontologie.

L'échelle de Hamilton est le test le plus utilisé pour évaluer l'intensité des symptômes dépressifs (Bentz *et al.*, 2008; Cabañero-Martínez *et al.*, 2007). Plus la note est élevée, plus la dépression est grave :

De 10 à 13: symptômes dépressifs légers

De 14 à 17: symptômes dépressifs modérés

Plus de 18: symptômes dépressifs sévères

Le problème c'est lorsque le résultat du test est égal à 10, 13, 14, 17 ou 18. Ce n'est pas logique que la différence d'un point va distinguer entre non dépression et dépression légère, dépression légère et dépression modérée, ou dépression modérée et dépression sévère. Donc, l'utilisation de la logique floue ici est indispensable. Par conséquence, on a besoin d'une ontologie flou qui supporte cette imprécision.

La classe « Depression Syptom » qui est une sous classe de la classe « Symptômes » est fuzzifier en trois classes floues selon la variable linguistique « Hamilton_Scale » : « Mild Depression Syptom », « Moderate Depression Syptom » et « Severe Depression Syptom ». La figure 10 représente les fonctions d'appartenances des trois classes floues y compris le cas lorsque le patient n'a pas de dépression.

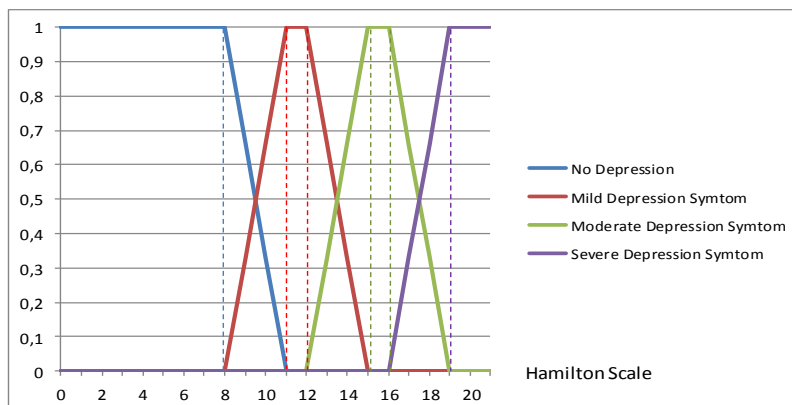


Figure 10. Les fonctions d'appartenance des classes floues du concept « Depression_Syptom »

7. Conclusion

Dans cet article, nous avons montré comment on peut définir une ontologie floue de domaine représentant des connaissances spécifiques à l'aide à la décision pour la maladie d'Alzheimer, en l'occurrence notre ontologie « AlzFuzzyOnto ». Notre contribution a consisté premièrement à étendre l'ontologie noyau de domaine **Mind** pour représenter plus de connaissances. En fait, nous avons pu ajouter à **Mind** un module capable d'assurer la représentation des connaissances relatives à la prise en charge de la MA. Notre deuxième contribution a consisté à montrer comment on peut recenser les points d'incertitude et d'imprécision présents dans certains concepts et certaines relations de l'ontologie pour générer des concepts et des relations flous permettant de représenter les informations et les données floues de la maladie. Ceci nous a permis d'obtenir une ontologie floue pour la MA, proche des scénarios du monde réel de la maladie et facilement intégrable avec des moteurs d'inférence floue.

L'expérimentation et la validation de cette ontologie constituent les premières perspectives de nos travaux sur la MA. Par conséquent, une instanciation de l'ontologie « AlzFuzzyOnto » est nécessaire. Nous comptons définir des individus pour cette ontologie en nous inspirant de cas réels de la MA. Aussi, nous procéderons à la construction (i) d'une base de règles floues contenant des connaissances expertes sur la MA et (ii) d'un moteur d'inférence floue.

Bibliographie

- Alzheimer's Association, (2012) Alzheimer's Disease Facts and Figures. Alzheimer's and Dementia: The Journal of the Alzheimer's Association. vol. 8, n° 2, p. 131-168.
- Bentz B.G., Hall J.R., (2008). Assessment of depression in a geriatric inpatient cohort: A comparison of the BDI and GDS. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, vol. 8, p. 93-104.
- Bobillo F., Straccia U., (2011). Fuzzy ontology representation using OWL 2, *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 52, p. 1073–1094.
- Bodenreider O. (2004). The Unified Medical Language System (UMLS): integrating biomedical terminology, *Nucleic Acids Res*, vol.32, p. 267–70.
- Cabañero-Martínez M.J., Cabrero-García J., Richart-Martínez M., Muñoz-Mendoza C.L., Reig-Ferrer A., (2007). Revisión estructurada de las escalas de depresión en personas mayores. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, vol. 7, p. 823-846.
- California Workgroup on Guidelines for Alzheimer's Disease Management, *Guideline for Alzheimer's Disease Management*, Final Report, California Version 2008.
- Dramé K., Diallo G., Delva F., Dartigues J.F., Mouillet E., Salamon R., Mougín F., (2014). Reuse of terminological resources and text corpora for building a multilingual

- domain ontology: An application to Alzheimer's disease, *Journal of Biomedical Informatics* vol. 48, p. 171–182.
- Gangemi A., Borgo S., (2004). (Eds.), In Proceedings of Workshop on Core Ontologies in Ontology Engineering in the 14th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW).
- Ghorbel H., Bahri A., Bouaziz R., (2008). A Framework for Fuzzy Ontology Models, 2^{ème} Journées Francophones sur les ontologies.
- Ghorbel H., Maalej S., Bahri A., Bouaziz R., (2013). Un framework pour la génération semi-automatique d'ontologies floues, *Technique et Science Informatiques (TSI)*, vol. 32, n° 6, p. 671-698.
- Gruber T. (1993). *Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing*. In Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation, Nicola Guarino and Roberto Poli Edition, Kluwer, Academic Publishers, T.R.
- Expertise collective (2007). *Maladie d'Alzheimer – Enjeux scientifiques, médicaux et sociétaux*, Paris, Editions Inserm.
- Malhotra A., Younesi E., Gundel M., Muller B., Heneka M.T., Hofmann-Apitius M., (2014). ADO: A disease ontology representing the domain knowledge specific to Alzheimer's disease, *Alzheimer's & Dementia*, vol. 10, p. 238–246.
- Monien B., Apostolova L., Bitan G., Early diagnostics and therapeutics for Alzheimer's disease. How early can we get there?, *Expert review of Neurotherapeutics*, vol. 6, 2009, p. 1293-1306.
- Pleckaityte M. (2010). Alzheimer's disease: a molecular mechanism, new hypotheses, and therapeutic strategies, *Medicina*, vol. 46 n° 1, p. 70-76.
- Refolo L.M., Snyder H., Liggins C., Ryan L., Silverberg N., Petanceska S., Carrillo M.C., (2012). Common Alzheimer's disease research ontology: National Institute on Aging and Alzheimer's Association Collaborative Project, *Alzheimer's and Dementia*, vol. 8, n° 4, p. 372 – 375.
- Sanchez E. (2014). *Semantically Steered Clinical Decision Support Systems*, Thesis Submitted to the department of Computer Science and Artificial Intelligence, University of the Basque Country Donostia - San Sebastian.
- Sanchez E., Toro C., Carrasco E., Bonachela P., Parra C., Bueno G., Guijarro F., (2011). A Knowledge-based Clinical Decision Support System for the Diagnosis of Alzheimer Disease, *IEEE Healthcom*, vol. 13, p. 351-357.
- Toro C., Graña M., Posada J., Vaquero J., Szczerbicki E., (2009). Domain Modeling Based on Engineering Standards, p. 95–102.
- Zadeh L. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, *International Journal of Information Science*, vol. 4, n° 4, p. 301-357.
- Zekri F., Ghorbel H., Bouaziz R., (2014). A Decision Support System Based on Fuzzy Specialized Rules for the Alzheimer Disease, *11th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, p. 490-496.