



HAL
open science

De l'intérêt des ontologies modulaires. Application à la modélisation de la prise en charge de la SLA

Sonia Cardoso, Xavier Aime, Vincent Meininger, David Grabli, Kevin Bretonnel Cohen, Jean Charlet

► To cite this version:

Sonia Cardoso, Xavier Aime, Vincent Meininger, David Grabli, Kevin Bretonnel Cohen, et al.. De l'intérêt des ontologies modulaires. Application à la modélisation de la prise en charge de la SLA. 29es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances, IC 2018, AFIA, Jul 2018, Nancy, France. pp.121-128. hal-01839571

HAL Id: hal-01839571

<https://hal.science/hal-01839571v1>

Submitted on 23 Jul 2018

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

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

De l'intérêt des ontologies modulaires. Application à la modélisation de la prise en charge de la SLA

Sonia Cardoso^{1,3}, Xavier Aimé^{2,3}, Vincent Meininger⁴, David Grabli⁵, Kevin Bretonnel Cohen^{6,7}, Jean Charlet^{3,8}

¹ IHU-A-ICM, Hôpital Pitié Salpêtrière
sonia.cardoso@icm-institute.org

² Cogsonomy

³ Sorbonne Université, INSERM, Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, UMR_S 1142, LIMICS, Paris

⁴ Ramsay General de Santé, Hôpital Peupliers, Paris, France

⁵ AP-HP Pitié Salpêtrière, Département des maladies du Système Nerveux, Paris SU, France

⁶ Computational Bioscience Program, U. Colorado School of Medicine, USA

⁷ Université Paris-Saclay, LIMSI-CNRS, France

⁸ Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, DRCI, Paris, France

Résumé : Pour tenter de comprendre les causes de ruptures de parcours de soins dans le cadre de la prise en charge des patients atteints de Sclérose Latérale Amyotrophique (SLA), dans un réseau de coordination de parcours de soins, nous avons créé une ontologie modulaire. L'objectif de notre travail est d'explicitier les apports et limites d'une ontologie modulaire, dans ce cas d'usage, la méthodologie de construction utilisée et de la comparer d'un point de vue quantitatif à des ontologies monolithiques de domaines connexes.

Mots-clés : Ontologie, ontologie modulaire, parcours de soin, Sclérose Latérale Amyotrophique.

1 Introduction

La sclérose latérale amyotrophique (SLA) est une maladie neurodégénérative qui entraîne une détérioration rapide et progressive du contrôle volontaire de la musculature squelettique et éventuellement une perte de fonction des muscles de la ventilation, entraînant la mort entre 24 et 36 mois (Corcia *et al.*, 2008). Selon les pays, le suivi et la prise en charge se fait différemment, par exemple, aux États-Unis, la prise en charge de la SLA se fait principalement à domicile (Lavernhe *et al.*, 2017). En France, la prise en charge de cette maladie s'oriente vers le domicile mais elle peut néanmoins provoquer des hospitalisations fréquentes et des retours ultérieurs dans le milieu familial. A Paris, fut créé un réseau de coordination : le réseau de SLA dont l'objectif principal est de coordonner la prise en charge des patients atteints de SLA. La paralysie progressive des muscles va placer les patients face à de nombreuses situations de handicap. Les patients et leur entourage vont nécessiter différents types d'aides, des aides humaines lors de la réalisation d'activités de vie quotidienne – manger, se laver, s'habiller, etc. – des aides techniques (fauteuil roulant électrique ou manuel) pour les déplacements notamment, mais aussi un accompagnement social pour la mise en place de financement des aides (Soriani & Desnuelle, 2017). Des problèmes surgissent lorsque les transitions entre l'hôpital et le lieu de vie entraînent des interruptions dans le parcours de soin. Ces ruptures peuvent avoir un impact sur la santé et la qualité de vie du patient et de sa famille. Cependant, nous ne disposons d'aucune donnée sur l'origine des problèmes entraînant ces ruptures de parcours à domicile. Ce manque de compréhension des causes des ruptures est un problème car, si les causes des interruptions de soins étaient comprises, des mesures pourraient être prises pour les prévenir.

Un des moyens de mieux appréhender ces causes de rupture de soins et de les comprendre, consisterait entre autres à pouvoir les modéliser pour mieux les analyser. Une ressource permettant cette modélisation existe au travers d'un corpus provenant d'un système de messagerie. Ce système est utilisé pour la communication entre les coordonnateurs du réseau SLA et les personnes impliquées dans la prise en charge des patients (professionnels de santé de proximité, membres de la famille, structure sociale et médico-sociale et patients). Les données sont des messages sous forme textuelle exprimés en langage naturel mais non structurés, ce qui les rend intelligibles aux humains mais non analysables par les techniques classiques d'exploration de données. De plus, la quantité des messages est très importante, ce qui rend inenvisageable de les analyser manuellement – un cas d'utilisation classique pour le traitement automatique du langage naturel (Lin, 2008).

Afin de faciliter l'exploration de texte et le travail d'exploration de données subséquent, nous envisageons d'utiliser une ontologie. Cependant, aucune ontologie incluant les dimensions médicale, de coordination et socio-environnementale du système social et médico-social français n'est disponible ou n'a été créée à ce jour. Nous avons donc été obligé de construire une telle ontologie, ONTOPARON, dans le but de mieux comprendre les causes de rupture de soins dans le cadre de la SLA. C'est une tâche spécifique car elle nécessite une modélisation de la communication (entre les professionnels et les membres de la famille des patients), alors que les ontologies biomédicales sont généralement orientées vers la modélisation de la biologie et de la pathologie. Pour cela, nous avons adopté une forme modulaire de l'ontologie.

Nous axons cet article sur le caractère modulaire de l'ontologie et les difficultés de sa construction. Nous exposerons les motivations pour la conception modulaire et le travail de modularisation lui-même. Nous aborderons les difficultés que nous avons rencontrées et nous discutons les points qui nous paraissent saillants dans ce travail. Nous ne nous préoccupons pas des problèmes formels et de langages de représentation associés aux ontologies et aux ontologies modulaires comme ils sont décrits dans (Bao & Honavar, 2006) et nous considérerons, ce qui est notre cas, que le langage de représentation OWL utilisé est suffisamment expressif pour représenter les connaissances nécessaires.

2 Définition et motivation de la modularité d'une ontologie

Pathak *et al.* (2009) définit une ontologie modulaire comme un ensemble de modules qui sont des « composants réutilisables d'une ontologie plus grande ou plus complexe, qui est autonome mais qui présente une association définie avec d'autres modules d'ontologie, y compris l'ontologie originale ». En ce sens, les ontologies modulaires contrastent avec les ontologies monolithiques.

Selon Bao et Honavar (2006), « comme les ontologies sont conçues pour des domaines spécifiques, des applications, ou des utilisateurs, elles nécessitent souvent des adaptations importantes avant de pouvoir être déployées avec succès dans des environnements connexes et proches. Il y a donc un besoin urgent de favoriser une réutilisation sélective et indépendante de modules au sein de ces ontologies. » D'une manière générale, « les ontologies modulaires (1) facilitent la réutilisation de connaissances sur de multiples applications, (2) sont faciles à construire, maintenir et modifier, (3) permettent une ingénierie distribuée des modules sur différents champs d'expertise, et (4) permettent une gestion et une navigation efficace dans les modules » (Grau *et al.*, 2006).

Mais par rapport aux ontologies monolithiques, les ontologies modulaires posent des défis supplémentaires. Par exemple, elles imposent une charge supplémentaire de spécification d'un niveau supplémentaire dans la hiérarchie d'héritage pour chaque concept.

Abbès *et al.* (2012) ont étudié les caractéristiques de la modularité et ont proposé de classer la modularisation en quatre types de patrons : 1) 1 module important n modules, 2) n modules important 1 module, 3) n modules important n-1 modules et, enfin, 4) un mixte de tous ces patrons. La figure 1 précise les deux premiers patrons pour les importations. Ils sont les plus importants pour la construction modulaire puisqu'ils représentent, respectivement, la modularité de l'ontologie via l'agrégation de plusieurs modules et l'héritage d'un module correspondant la plupart du temps à une ontologie noyau.

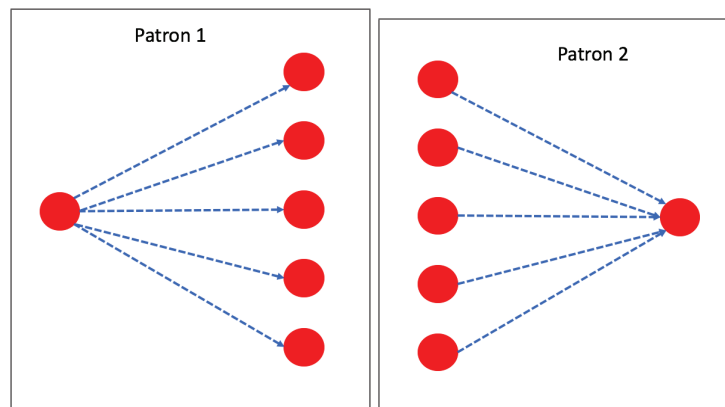


FIGURE 1 – Premier et second patrons de type d'importation de modules. Le premier patron correspond à une action d'agrégation où l'on construirait une ontologie des animaux en agréant des ontologies des mammifères, des oiseaux, etc. Le second schéma correspond à une action d'héritage où n modules se partagent les concepts d'un module plus général. C'est typique des actions de partage d'ontologie noyau. Schémas tirés de Abbès et al. (2012).

3 Construire une ontologie modulaire

3.1 Éléments de modularisation

En pratique, quand on veut construire une ontologie modulaire, on se trouve devant deux cas :

1. on part de zéro (pas d'ontologie monolithique ou modulaire déjà construite) et on décide de construire une ontologie modulaire ;
2. on est déjà dans un contexte d'ontologie modulaire. En conséquence, le module à construire doit s'inscrire parfaitement dans ce contexte. Et l'ontologue se doit de maîtriser ce contexte ; à savoir *a*) connaître les autres modules, *i.e.* les autres ontologies, *b*) y compris les ontologies importées par les autres modules.

Les réflexions que nous retranscrivons ici correspondent au 2^e cas et c'est cela que nous avons expérimenté dans ONTOPARON. Dans notre cas, comme précisé en introduction, nous avons constitué trois modules pour les dimensions médicale, de la coordination et socio-environnementale. Deux autres modules sont imposés par la modélisation : (1) l'ontologie noyau qui correspond aux concepts communs aux trois modules (et qui est importée par chacun d'eux) et (2) le module d'agrégation qui met ensemble les trois modules. Ce dernier module ne modélise aucun concept, il ne sert qu'à agréger. La figure 2 schématise les liens d'importation de nos principaux modules.

Nous choisissons d'importer dans chaque module uniquement des modules sémantiquement plus généraux. Même si, techniquement, un éditeur comme Protégé autorise n'importe quel import – quel que soit le niveau de granularité sémantique. Nous estimons en effet que l'importation d'un module se calque sur la notion d'héritage telle que développée dans la programmation orientée objet par exemple. Ainsi une commande *import* dans une ontologie se comporte comme l'instruction *extends* dans une classe en Java. Le module hérite de l'ensemble des concepts et relations qu'il va étendre/spécifier (et non l'inverse).

3.2 Processus de construction

La structure modulaire globale de l'ontologie, ainsi que les concepts spécifiques qu'elle contient, ont été développés et validés par un processus itératif combinant une analyse ascendante des données sur la communication liée à la coordination pour les patients SLA et

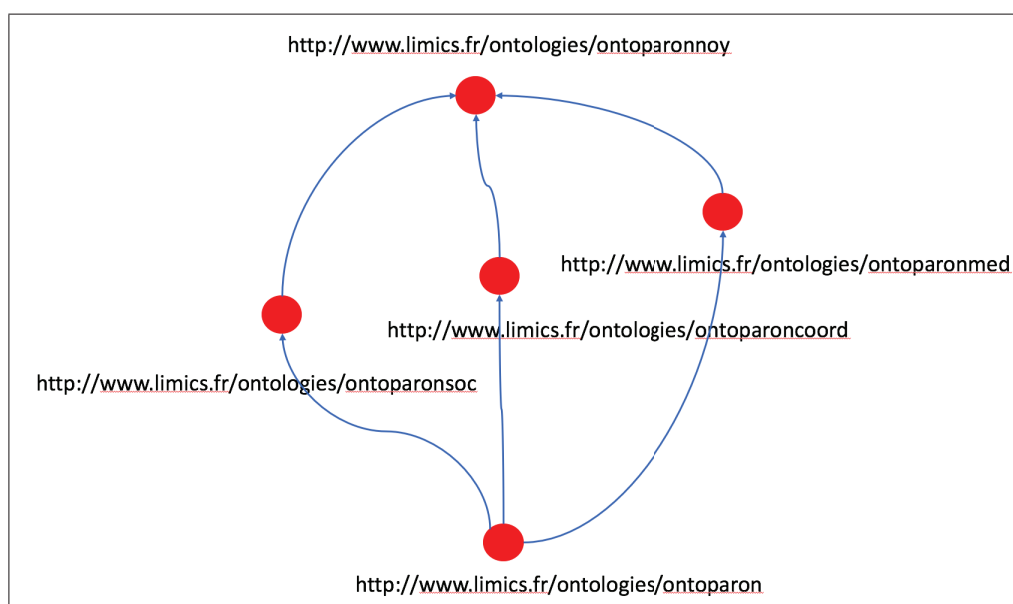


FIGURE 2 – Vue d'ensemble du schéma d'héritage des concepts d'ONTOPARON. Les classes de chacune des ontologie ont une URI spécifique. Les ontologies correspondant aux annotations de l'ontologie et des concepts ne sont pas représentées (e.g. SKOS ou Dublin Core).

la modélisation descendante par un expert du domaine. La construction et l'évaluation des ontologies sont des tâches complexes, avec de nombreuses approches valables. Comme suggéré par le travail de Spasic *et al.* sur la mise à jour des réseaux sémantiques par typage sémantique des termes dans un corpus textuel (2005) et par le travail de Friedman *et al.* sur l'évaluation des ontologies via la couverture des informations textuelles (2006), ONTOPARON a été amorcée par l'analyse des messages du corpus. L'outil HeTOP¹ a été utilisé pour aligner les concepts de nos ontologies avec d'autres terminologies en utilisant leurs codes UMLS.

3.3 Résultats quantitatifs

Pour faire une analyse quantitative de ONTOPARON, nous la comparons à deux ontologies de domaines apparentées, l'ontologie de coordination des soins infirmiers (NCCO — Popejoy *et al.* (2014)) et l'ontologie de la maladie d'Alzheimer et des maladies connexes (ONTOAD—Dramé *et al.* (2014)). La première est pertinente dans la mesure où son domaine est lié à celui de la coordination des soins, la seconde, dans la mesure où elle modélise une maladie dégénérative neurologique. Puisque ONTOAD a été développée en français et en anglais, comme ONTOPARON, elle permet également de comparer les aspects bilingues de notre ontologie.

Pour faire une analyse quantitative de ONTOPARON, nous la comparons à deux ontologies de domaines apparentées : l'ontologie de coordination des soins infirmiers (NCCO) qui est pertinente dans la mesure où son domaine est lié à celui de la coordination des soins ; l'ontologie de la maladie d'Alzheimer et des maladies connexes (ONTOAD) qui est pertinente dans la mesure où elle modélise une maladie dégénérative neurologique. Puisque ONTOAD a été développée en français et en anglais, comme ONTOPARON, elle permet également de comparer les aspects bilingues de notre ontologie.

Le tableau 3 quantifie quatre aspects d'OntoParon et des deux ontologies connexes : le nombre de classes, le nombre de termes en anglais et en français, et la profondeur médiane des concepts.

1. <https://hetop.eu/hetop/>

Nombre de classes : la quantité de classes est une estimation de la couverture du domaine. Un grand nombre de classes permet une large couverture du domaine (néanmoins un nombre de classes trop important peut suggérer une ontologie difficile à utiliser dans la pratique). En ce qui concerne le nombre total de classes, ONTOPARON se situe entre les deux autres ontologies. L'ontologie ONTOAD, pour la maladie d'alzheimer, est la plus grande, avec 5899 classes (*versus* les 2898 classes de ONTOPARON). Cela semble raisonnable, car en plus de modéliser les aspects sociaux / environnementaux et quotidiens de la maladie (comme ONTOPARON), elle modélise également la biologie de la maladie, par exemple des fonctions moléculaires (telles que l'activité tau-protéine kinase), qui est en dehors du domaine de ONTOPARON.

En revanche, ONTOPARON est beaucoup plus grande que l'Ontologie de coordination des soins infirmiers, avec 2989 classes contre 400 pour NCCO. Cependant, si l'on compare uniquement le module de coordination de ONTOPARON à celui de NCCO, on constate qu'ils sont beaucoup plus proches, à 250 ou 400 classes, ce qui semble raisonnable puisque NCCO contient d'autres classes en plus de celles liées à la coordination des soins infirmiers. Une analyse plus approfondie de cette différence sera poursuivie à l'aide d'outils d'analyse ontologique, en particulier OnAGUI², utilisés pour aligner les concepts d'ontologies.

Nombre de termes, français et anglais : ces quantités sont des estimations de l'état de préparation de l'ontologie à mettre en correspondance avec d'autres ontologies ; le cas d'utilisation nécessite des termes en français, mais la mise en correspondance avec d'autres ontologies nécessite les termes en anglais correspondants.

Profondeur médiane des classes : Il s'agit d'une estimation de haut niveau de la complexité des ontologies, avec une plus grande profondeur suggérant une plus grande complexité. Nous comparons les profondeurs par leurs médianes plutôt que par leurs moyennes car les profondeurs ne sont pas normalement distribuées - données non montrées. Comme le montre le tableau 3, les profondeurs médianes des classes du NCCO et de ONTOAD sont plutôt extrêmes, à 3 (NCCO) et 9 (ONTOAD). En revanche, la profondeur médiane des classes d'ONTOPARON est 4. Ceci est cohérent avec une hiérarchie d'héritage raisonnable.

FIGURE 3 – Comparaison qualitative de OntoParon avec NCCO et OntoAD.

Ontologie	OntoParon					NCCO	OntoAD
	Noyau	Médical	Socio-environ.	Coordin.	Total	Total	Total
Classes	414	1313	921	250	2898	400	5899
Termes (fr)	433	1239	1033	282	2987	0	3283
Termes (en)	52	76	212	12	352	400	5899
Prof. moy.	3	5	4	4	4	3	9

4 Quelques bonnes pratiques

4.1 Sur la modularisation elle-même

La construction s'opère donc sur trois types de modules : (1) un module top-core, (2) des modules spécifiques et (3) un module de consolidation. Comme suggéré dans Aimé *et al.* (2016), chaque module répond à un certain nombre de contraintes parmi lesquelles nous pouvons citer :

- tout module de consolidation possède son propre espace de nommage ;

2. <https://github.com/lmazuel/onagui>

- tout module de consolidation répond à une problématique (i.e. un besoin de modélisation d'un point de vue donné) ;
- tout module de consolidation ne peut hériter que d'un ou de plusieurs modules spécifiques, ou (non exclusif) d'un ou de plusieurs modules de consolidation ;
- toute relation d'objet d'un module de consolidation a pour domaine et codomaine des concepts dans des modules différents (sinon elles doivent être créées au sein du module concerné).

Chaque module spécifique hérite directement de tous les concepts et relations de l'ontologie noyau, et indirectement de la top-ontologie si elle est définie. Chaque module spécifique exprime un point de vue ou un sous-domaine.

Un module de consolidation permet la spécialisation de concepts en provenance de modules spécifiques par l'ajout de labels, de relations avec des concepts ou d'attributs. Les modules de consolidation permettent de former des ensembles logiques et cohérents de modules spécifiques ou de consolidation en fonction de leur finalité d'usage. Ce jeu de modules consolidés peut ensuite être assemblé, permettant d'avoir une grande souplesse dans la diffusion de la base de connaissances (pas besoin d'exporter plus que de besoin). D'autre part, chaque modification dans un module spécifique (ou même de consolidation pour peu qu'il soit importé dans un autre module de consolidation) est automatiquement reportée dans l'ensemble des modules héritant directement ou indirectement (par transitivité).

4.2 La nécessité d'une ontologie noyau

Quand on passe de l'ontologie monolithique à l'ontologie modulaire, on s'aperçoit rapidement qu'une ontologie noyau est indispensable. Dans notre cas, nous avons, comme souvent dans le processus de construction d'ontologies de notre laboratoire, commencé par une ontologie non modulaire et sans ontologie noyau même si on savait qu'elle deviendrait assez rapidement nécessaire. En effet et par exemple, trouver des concepts qui subsument des actes de différents personnels médicaux ou de coordination crée le besoin d'avoir la notion d'acte non spécifique. Et ce type de constat se répétant n fois, l'ontologie noyau devenait indispensable. Nous avons à notre disposition, une ontologie noyau subsumée par une top que nous réutilisons habituellement, TOP-MENELAS et c'est celle-ci qui a été retenue pour ONTOPARON avec quelques aménagements³.

4.3 Ne travailler qu'avec des ontologies

L'importation d'ontologies implique que la qualité de la modélisation dépend de la qualité des ontologies importées. Sans chercher à mesurer cette qualité de façon précise, il faut faire attention à des problèmes de modélisation dans les serveurs de terminologies comme bioportal⁴. Avec des arguments de cohérence de langage, des Systèmes d'Organisation des Connaissances (SOC) qui ne sont pas des ontologies, sont modélisées comme des ontologies avec, à la fin, des erreurs manifestes. Dans certains cas, les auteurs du SOC assument l'« erreur » comme pour le MeSH⁵ mais ce n'est pas toujours le cas.

4.4 Mettre à disposition

La mise à disposition d'ontologies modulaires est plus compliquée qu'une ontologie monolithique car l'importation des ontologies standards disponibles sur des serveurs n'est pas toujours possible. Pour prendre 2 des ontologies les plus utilisées sur Internet, FOAF et Dublin Core (DC), au moment de l'écriture de ce papier, FOAF est accessible directement dans les interfaces du logiciel Protégé (et ça marche !) alors que DC n'est pas immédiatement accessible. Une solution est alors de regrouper dans un même dossier l'ensemble des modules

3. <http://bioportal.bioontology.org/ontologies/TOP-MENELAS>

4. <http://bioportal.bioontology.org>

5. <http://bioportal.bioontology.org/ontologies/MESH>

nécessaires à la reconstruction de l'ontologie, ceux qui forment le travail de l'équipe et ceux qui correspondent aux ontologies standards. En termes de mise à disposition vers l'extérieur, on a alors des stratégies différentes selon les cas : *a*) on veut mettre l'ensemble des fichiers à disposition aux utilisateurs comme les modules d'un programme et on les distribue via, par exemple, un Github ou *b*) on veut mettre le résultat final de l'ontologie à disposition, toute importation faite, et on utilise la fonction *Merge* de Protégé.

4.5 La modularité des méta-données

Des problèmes de chargement des ontologies (ontologies inaccessibles par importation directes, serveur amenant sur des pages complexes où trouver la bonne ontologie n'est pas évident) et des facilités des ontologistes (n'utilisant par exemple qu'une méta-donnée du *Dublin Core*) amènent les auteurs à ne vouloir renseigner que quelques méta-données intéressantes. Force est de constater à ce moment que les classes sont souvent, ou mal nommées (erreur dans l'URI) ou mal organisées. Ainsi quelqu'un se servant des `skos:prefLabel` et `skos:altLabel` peut vouloir les rentrer à la main dans l'ontologie et oublier qu'il faut les ranger sous `rdfs:Label` au risque d'égarer un logiciel qui fouillerait les termes d'une ontologie via une requête sur les seuls `rdfs:label`. La solution est dans *a*) la recherche et la récupération du bon fichier sur Internet pour le mettre dans son propre dossier de travail en acceptant souvent de récupérer des méta-données *a priori* inutiles (en suivant le même exemple, on peut ramener dans son dossier de travail pour importation à l'ouverture le fichier <https://www.w3.org/2009/08/skos-reference/skos.rdf>) ou *b*) la reconstruction d'un fichier spécifique associé à ceux de l'ontologie dans le même dossier et mis à disposition en même temps. Dans tous les cas, autant que faire se peut, on gère l'importation de ces méta-données via une seule ontologie, la noyau sus-nommée.

5 Perspectives et conclusion

Le travail décrit ici est en cours et ouvre quelques perspectives que nous abordons rapidement.

En termes de modularité de l'ontologie, notre prochaine étape est de travailler sur les relations et leurs positionnements sur les différents modules, en respectant les principes exprimés dans 4.1 mais qui nécessitent quelques approfondissements pour tenir compte de toutes les situations des domaine et codomaine des relations. C'est ce à quoi nous allons rapidement nous attacher en réimplémentant et réorganisant les relations de l'ontologie monolithique d'origine dans sa version modulaire.

En termes d'études de la modularité et de la caractérisation des modules les uns par rapport aux autres, Abbès *et al.* (2012) ont proposé un certain nombre de mesures que nous pensons implémenter pour mieux décrire les propriétés de nos modules.

Enfin, par rapport à l'ontologie décrite ici, notre objectif à long terme est d'appliquer ce modèle ontologique modulaire à d'autres pathologies neurologiques comme la maladie de Parkinson. La vue modulaire pourrait nous permettre de réimplémenter uniquement les modules spécifiques aux maladies tout en réutilisant les autres. La modularité peut aussi nous permettre de n'utiliser qu'un module spécifique pour observer uniquement la dimension socio-environnementale par exemple, ou encore de comparer des modèles de coordination qui peuvent être différents selon les structures et comprendre ainsi leur impact dans les parcours de santé des patients.

De façon plus générale, il est clair qu'une ontologie modulaire est la conception la plus adaptée à notre utilisation : comprendre à la fois les ruptures de parcours, comprendre les besoins des patients et des familles et modéliser les actions de coordination déployées – quelles sont les demandes faites aux coordinateurs, par qui et à quel moment du parcours, comprendre les solutions mises en place pour répondre aux demandes, quel type d'action est déployé : action de prévention, action de diffusion des informations, action de formation, de soutien, de recherche ... – au cours de cette coordination. Le fait que les modules de l'ontologie soient encore en cours de raffinement offre l'opportunité d'étudier l'évolution de l'ontologie dans

son ensemble et comment ces modules contribuent à sa gestalt. Cela est fait ici par la comparaison de l'ontologie modulaire en évolution avec des ontologies monolithiques qui sont pertinentes pour le domaine : une ontologie d'une maladie connexe et une ontologie de la fourniture de soins. Cette comparaison pose un certain nombre de questions de recherche ouvertes, telles que celle de la profondeur optimale d'une telle ontologie et de ses modules individuels; le développement continu de ONTOPARON permettra de chercher les réponses.

Références

- ABBÈS S. B., SCHEUERMANN A., MEILENDER T. & D'AQUIN M. (2012). Characterizing modular ontologies. In *Proceedings of the 6th International Workshop on Modular Ontologies, Graz, Austria, July 24, 2012*.
- AIMÉ X., GEORGE S. & HORNUNG J. (2016). Vetivoc : A modular ontology for the fashion, textile and clothing domain. **11**(1), 1–28.
- BAO J. & HONAVAR V. (2006). Adapt OWL as a Modular Ontology Language.
- CORCIA P., PRADAT P., SALACHAS F., BRUNETEAU G., LE FORESTIER N., SEILHEAN D., HAUW J. & MEININGER V. (2008). Causes of death in a post-mortem series of ALS patients. **9**(1), 59–62.
- DRAMÉ K., DIALLO G., DELVA F., DARTIGUES J. F., MOUILLET E., SALAMON R. & MOUGIN F. (2014). Reuse of termino-ontological resources and text corpora for building a multilingual domain ontology : An application to Alzheimer's disease. *Journal of Biomedical Informatics*, **48**, 171–182.
- FRIEDMAN C., BORLAWSKY T., SHAGINA L., XING H. R. & LUSSIER Y. A. (2006). Bio-ontology and text : bridging the modeling gap. **22**(19), 2421–2429.
- GRAU B. C., PARSIA B., SIRIN E. & KALYANPUR A. (2006). Modularity and web ontologies. In *Proceedings of the 20th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, p. 198–209 : AAAI Press.
- LAVERNHE S., ANTOINE J.-C., COURT-FORTUNE I., DIMIER N., COSTES F., LACOUR A. & CAMDESSANCHÉ J.-P. (2017). Home care organization impacts patient management and survival in ALS. **18**(7), 562–568.
- LIN J. (2008). Scalable language processing algorithms for the masses : A case study in computing word co-occurrence matrices with mapreduce. In *Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP '08*, p. 419–428, Stroudsburg, PA, USA : Association for Computational Linguistics.
- PATHAK J., SOLBRIG H. R., JOHNSON T. M., BUNTROCK J. D. & CHUTE C. G. (2009). Survey of modular ontology techniques and their applications in the biomedical domain. **(3)**, 225–242.
- POPEJOY L. L., KHALILIA M. A., POPESCU M., GALAMBOS C., LYONS V., RANTZ M., HICKS L. & STETZER F. (2014). Quantifying care coordination using natural language processing and domain-specific ontology. *Journal of the American Medical Informatics Association*, p. 1–9.
- SORIANI M.-H. & DESNUELLE C. (2017). Care management in amyotrophic lateral sclerosis. **173**(5), 288–299.
- SPASIC I., ANANIADOU S., MCNAUGHT J. & KUMAR A. (2005). Text mining and ontologies in biomedicine : making sense of raw text. **6**(3), 239–251.