



HAL
open science

Annotation et recherche sémantique d'images en gastroentérologie Raisonnement sur une ontologie des polypes

Yahia Chabane, Christophe Rey

► **To cite this version:**

Yahia Chabane, Christophe Rey. Annotation et recherche sémantique d'images en gastroentérologie Raisonnement sur une ontologie des polypes. Symposium sur l'Ingénierie de l'Information Médicale, Jul 2013, Lille, France. hal-02062398

HAL Id: hal-02062398

<https://hal.science/hal-02062398>

Submitted on 8 Mar 2019

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.

Annotation et recherche sémantique d'images en gastroentérologie

Raisonnement sur une ontologie des polypes

Yahia Chabane¹, Christophe Rey¹

LIMOS CNRS UMR 6158, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand 2,
Campus des Cézeaux, Aubière, FRANCE
{ yahia.chabane, christophe.rey }@univ-bpclermont.fr

Résumé : En gastroentérologie, le suivi de polypes est fondamental. Il peut être difficile pour les chirurgiens de décider s'ils doivent enlever un polype ou non. Une mauvaise décision peut entraîner des coûts injustifiés ou être dangereuse pour la santé des patients. Pour les aider dans leur diagnostic, les médecins peuvent avoir besoin de rechercher des images de cas déjà traités. Dans ce but, nous présentons une approche de recherche sémantique d'images endoscopiques de polypes. Cette approche est basée sur une adaptation de raisonnements standard en logique de description, associée à une ontologie des polypes et à un mécanisme d'annotation d'images adapté.

Mots-clés : recherche sémantique d'images médicales, ontologie des polypes, souscription locale, annotation.

1 Introduction

Les gastroentérologues utilisent des images prises au cours des examens médicaux pour fonder certaines de leurs décisions (enlever ou non un polype, pratiquer un examen supplémentaire). Dans les systèmes actuels de gestion d'images médicales, comme les PACS, une étape cruciale est celle de la recherche d'images, qui doit être intuitive, rapide et fournir les images les plus pertinentes. La recherche d'images par mots-clés s'appuie sur l'adéquation entre ces mots-clés décrivant l'image et ceux donnés par l'utilisateur pour la rechercher. Cette adéquation est une contrainte forte de laquelle l'approche sémantique vise à s'affranchir. Elle repose sur deux éléments : une « ontologie » du domaine (Gruber (2009)) et des mécanismes d'inférence appelés « raisonnements ». Une ontologie est un

dictionnaire des concepts d'un domaine, définis grâce à d'autres concepts ayant eux-mêmes une définition, et ainsi de suite. Les concepts étant liés, le processus de recherche peut être basé sur l'utilisation de ces liens. Il est alors dit sémantique. Par exemple, nous pouvons exploiter le lien « polype est une sorte de lésion » défini dans l'ontologie, pour fournir des images de lésions si l'on ne trouve pas d'images de polypes. C'est ce qu'on appelle le raisonnement de « subsumption ».

Les technologies sémantiques actuelles sont basées sur des formalismes de représentation des connaissances tels que les logiques de description (ou LD Baader *et al.* (2007)) ou les réseaux sémantiques (Meghini *et al.* (2001)) pour définir des ontologies et des raisonnements. Dans cet article, nous avons choisi les LD. En effet, de nombreux résultats théoriques d'expressivité et de complexité ont été obtenus ces dernières années pour ce formalisme. En outre, le langage OWL Ontology Web (OWL (2007)), normalisé par le W3C, est fondé sur les LD.

La contribution de cet article est la présentation d'une plateforme d'annotation et de recherche sémantique d'images endoscopiques de polypes en gastroentérologie. Les spécificités de cette plateforme sont : une ontologie des polypes (il n'en existe pas actuellement), une utilisation adaptée des raisonnements classiques des LD (subsumption et réalisation), et une complémentarité entre recherche sémantique et recherche syntaxique des images par mots-clés. Ce travail fait partie du projet Syseo (Syseo (2011)), qui vise à construire une plateforme multimodale d'acquisition et de gestion d'images en gastroentérologie.

Dans la section 2, nous expliquons les problèmes de gestion d'images des gastroentérologues. Ensuite, nous présentons notre proposition dans la section 3. A la section 4, nous positionnons cette dernière par rapport aux travaux connexes, avant de conclure.

2 Problème et scénarios

Afin de clarifier notre problématique, nous allons d'abord définir le vocabulaire adapté. Une *annotation* est l'expression de ce qui est observable dans une image, exprimée avec les concepts de l'ontologie. Une *propriété* est une partie d'une annotation qui décrit un aspect de l'image annotée (couleur, texture, ...). Une *classe* est un concept défini issu d'une classification. Par exemple, le concept « Paris1 » est une classe de la classification Paris (2003) qui regroupe tous les polypes ayant une forme de polypoïde.

Le système proposé dans cet article est composé de trois parties : (i) l'ontologie des polypes qui contient les définitions des concepts gastroentérologiques associés, ainsi que quatre classifications de polypes exist-

tantes (voir section 3.2), (ii) les raisonnements permettant d'utiliser la connaissance de l'ontologie dans la recherche (voir section 3.3), et (iii) les d'images de référence annotées (ie décrites en utilisant l'ontologie) et validées par des experts. Ce système doit répondre aux besoins suivants des gastro-entérologues :

S1 : la recherche sémantique d'images : pour affiner son diagnostic, un médecin aura besoin de retrouver des images de références, soit à partir de quelques critères regroupés dans une annotation d'image (l'annotation sert alors de requête), soit à partir du nom d'une classe.

S2 : la recherche exacte de classes : à partir d'observations regroupées dans une annotation, le médecin souhaitera identifier les classes correspondant *exactement* (caractérisées par les mêmes observations) au sein d'une classification. Ce scénario est particulièrement utile lors de l'apprentissage des classifications.

S3 : la recherche approchée de classes : à partir d'observations regroupées dans une annotation, le médecin souhaitera identifier les classes correspondant *en partie* (caractérisées par un sous-ensembles des mêmes observations) au sein d'une classification. Ce scénario est particulièrement utile quand le diagnostic est difficile à faire (image de mauvaise qualité par exemple).

Un point intéressant avec les scénarios précédents, c'est qu'ils peuvent être combinés. La combinaison S1 après S2 (resp. S3) permet d'extraire toutes les annotations d'images de référence qui appartiennent aux classes exactes (resp. approchées) d'une annotation de l'image d'entrée. Le médecin peut ainsi rechercher des images similaires à celle qu'il a annotée. En outre, la combinaison S3 après S1 permet d'extraire toutes les classes approchées des annotations d'images de référence appartenant à une classe d'entrée (ou annotation d'image d'entrée). Cela peut être utile pour la compréhension des liens entre les classes lors de l'apprentissage de celles-ci.

3 Approche proposée

Nous commençons cette section par quelques rappels informels sur les LD. Ensuite, nous présentons notre ontologie des polypes. Puis, nous montrons comment l'ontologie est utilisée pour annoter les images. Nous exposons alors les raisonnements qui sont utilisés pour mettre en œuvre les trois scénarios précédents.

3.1 Préliminaires

Lors de la modélisation des connaissances avec les LD (Baader *et al.* (2007)), on suit une approche ensembliste en définissant des éléments ap-

pelés *individus*, des ensembles d'individus appelés *concepts* et des ensembles de couples d'individus appelés *rôles*, dénotant les relations entre concepts. Dans notre contexte, les individus correspondent soit à des images soit à des observations, et les concepts et les rôles correspondent aux concepts gastroentérologiques et à leurs relations. Afin de construire des définitions de concepts complexes, les LD fournissent de nombreux constructeurs de concepts et de rôles. Elles fournissent également de nombreux axiomes permettant d'exprimer des propositions supposées vraies a priori, par exemple pour postuler des relations de subsomption, ou des appartenances d'individus à des concepts (cf Baader *et al.* (2007) pour plus de détails).

Parmi les différentes LD, nous avons choisi \mathcal{SHOIQ}^+ pour construire notre ontologie. C'est une LD très expressive, car elle permet l'utilisation de douze constructeurs de concept et de rôle et douze sortes d'axiomes (cf Motik *et al.* (2009) pour plus de détails). \mathcal{SHOIQ}^+ est également le langage sur lequel est basé le raisonneur HerMiT que nous avons utilisé et qui est l'un des raisonneurs actuels les plus performants (HerMiT (2013)).

3.2 Ontologie

L'ontologie des polypes (cf figure 2) que nous avons développée est divisée en trois grandes parties. La première partie est liée aux propriétés observables du polype présent sur l'image (couleur, forme, texture et mesures de taille). La deuxième partie est consacrée aux commentaires médicaux (hypothèse de diagnostic, proposition de classification) liés à l'image. La dernière partie contient des informations sur l'examen pouvant servir à éclairer le commentaire de l'image (informations sur le lieu anatomique et sur le patient). Enfin l'ontologie contient aussi la définition de ce qu'est une image, en lien avec les trois parties précédentes.

Dans l'ontologie, les concepts gastroentérologie proviennent principalement de quatre classifications qui ont été intégrées : la classification de Paris (Paris (2003)) qui décrit les formes des polypes, la classification Pit-Pattern (Kudo *et al.* (1994)) qui décrit les surfaces des polypes, la classification de Vienne (RJ *et al.* (2000)) qui décrit les états pathologiques polypes et la MST3.0 (MST (2009)) qui répertorie de nombreux concepts gastrointestinaux liées à l'anatomie, à des observations et à des actes médicaux. Statistiquement parlant, l'ontologie regroupe 58 concepts définis, 23 rôles et 188 individus, dont 100 annotations d'images (en partie générées aléatoirement) et 88 individus divers. Ces données sont liées par 58 relations de subsomption, 40 axiomes de concepts et environ 200 assertions d'individus. Elle est contenue dans un fichier de 476 Ko. C'est donc une petite ontologie. Ceci est essentiellement dû au fait qu'elle est

restreinte au domaine des polypes gastrointestinaux.

3.3 Annotation et interrogation

Le processus complet de notre approche est illustré sur la figure 1.

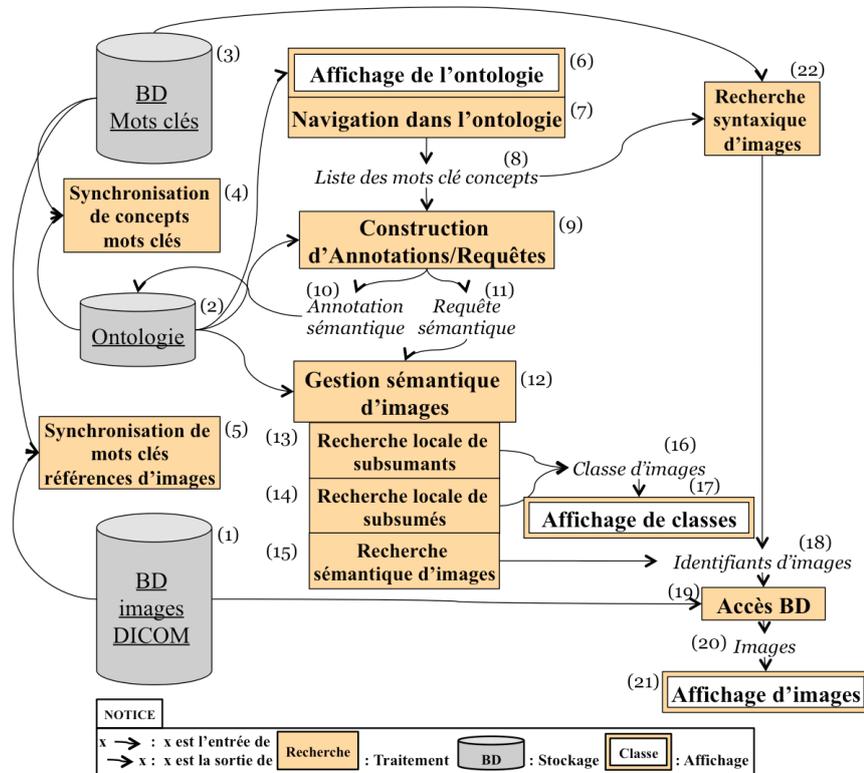


FIGURE 1 – Approche de recherche sémantique d'images

Tout d'abord, les images de polypes sont au format DICOM¹ et sont destinées à être stockées dans une base de données cloud (1). L'ontologie (2) est liée à cette base de données via une base de données de mots-clés (3) qui stocke les identifiants d'images associés aux mots-clés décrivant ces mêmes images. Les mots-clés sont des concepts issus de l'ontologie. De plus, les identifiants d'images sont également stockés dans l'ontologie en tant qu'individus qui sont des instances de leurs annotations d'images associées. Deux modules (4) et (5) assurent la cohérence entre (1), (2) et (3). L'intérêt de cette architecture de stockage des images et de l'ontologie

1. DICOM est un format de fichier image largement utilisé en médecine (DICOM (1993)).

est de conserver la possibilité d'effectuer une recherche par mots-clés, mais tout en étant complémentaire avec une recherche sémantique.

Par exemple, on peut imaginer une image d'identifiant 7456 caractérisée par les mots-clés *orange*, *haemorrhagic* et *stomach* (image d'estomac présentant une couleur orange et une texture hémorragique). En (1) est stocké le fichier DICOM, en (5) on a les tuples (7456, *orange*), (7456, *haemorrhagic*) et (7456, *stomach*), en (2) on a la définition des trois mots-clés (qui sont alors des concepts, cf figure 2) et en (3) on a la liste des 3 mots-clés.

Le processus sémantique se déroule alors comme suit. Premièrement, le système affiche la hiérarchie de subsomption calculée à partir de l'ontologie (6). L'utilisateur peut la parcourir (7) et sélectionner un ensemble de mots clés qui sont des concepts ou individus de l'ontologie (8). Cet ensemble est ensuite mis en correspondance avec la définition générique d'une image afin d'obtenir une annotation d'image (9) (cf figure 2). Ainsi, une telle annotation est un sous-concept de la définition générique d'une image. Par la suite, cette annotation (10) peut soit être stockée dans l'ontologie (scénario d'annotation), ou (11) peut être considérée comme une requête (scénario de recherche sémantique).

La figure 2 explicite le processus d'annotation : à partir des trois mots-clés précédents, de la définition du concept *Image* ainsi que des autres connaissances de l'ontologie (les axiomes de subsomptions de concepts et de rôles et le fait qu'à chaque concept C est associé un rôle c de co-domaine C), on obtient l'annotation $\exists \text{represents.}(\exists \text{color.}\{orange\} \sqcap \exists \text{mucosa.}\{haemorrhagic\} \sqcap \exists \text{location.}\{stomach\})$. Associée à l'image 7456, cette annotation pourra être stockée, mais pourra aussi servir de requête dans le but de trouver les images similaires. Pour trouver les classes correspondantes, on enlève le rôle *represente* (la requête est alors $\exists \text{color.}\{orange\} \sqcap \exists \text{mucosa.}\{haemorrhagic\} \sqcap \exists \text{location.}\{stomach\}$).

Dans la section 2, nous avons défini trois cas de recherche sémantique (12) : S1 (15), S2 (13) et S3 (14). Nous proposons donc trois raisonnements LD pour les implémenter (voir tableaux 1 et 2). Le raisonnement R1 est bien connu dans la littérature LD. Il est appelé recherche d'instances (ou réalisation) et consiste ici à trouver tous les individus (identifiants d'images) qui appartiennent à une description de concept donnée (l'annotation). Les raisonnements R2 et R3 sont de légères modifications de la subsomption. Dans R2, on trouve toutes les sous-classes d'une classification donnée (ex : Paris ou Pit-Pattern) qui sont également sous-classes de la requête. Dans R3, on retrouve toutes les superclasses de la requête

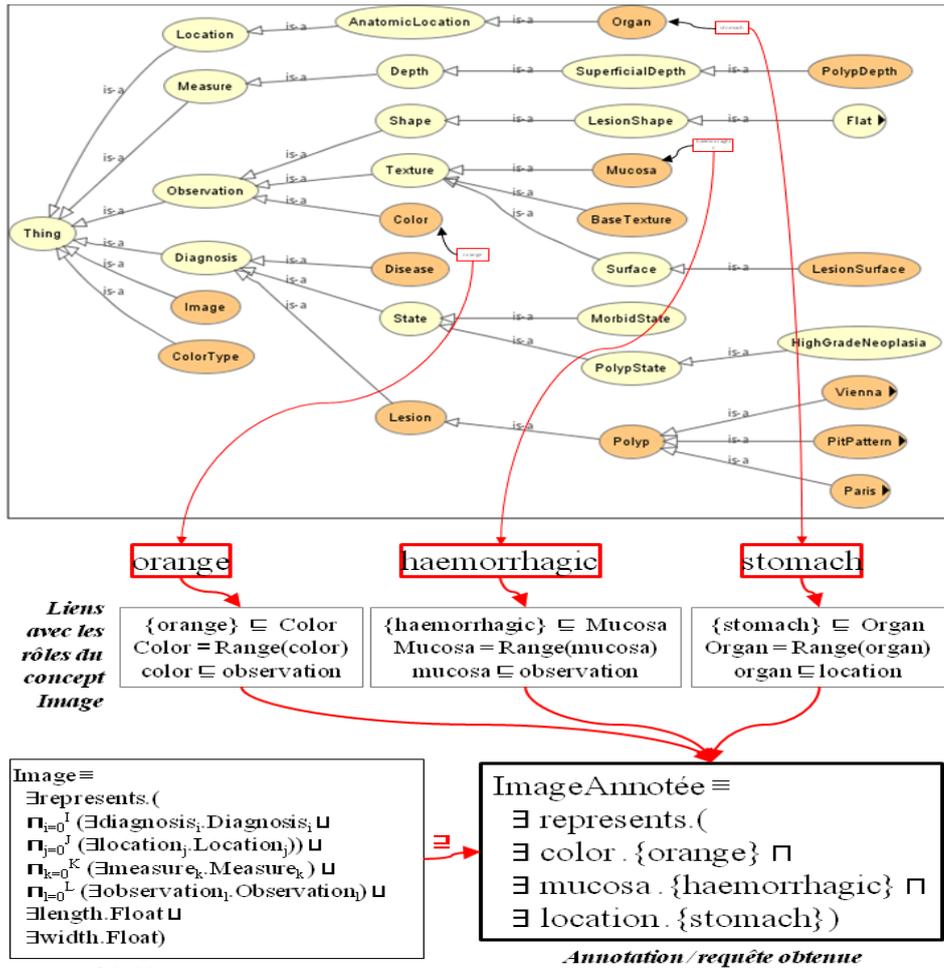


FIGURE 2 – Processus d'annotation d'images

#	Scénario	#	Raisonnement	Fig. 1
S1	Recherche sémantique d'images	R1	Recherche d'individus	(15)
S2	Recherche exacte de classes	R2	Recherche locale de subsumants	(13)
S3	Recherche approchée de classes	R3	Recherche locale de subsumés	(14)

TABLE 1 – Scénarios et raisonnements correspondants.

qui sont des sous-classes d'une classification donnée. Il s'agit d'un raisonnement de recherche approchée de classes car les superclasses de la requête partagent seulement certaines propriétés de celle-ci et non la totalité. Une fois les identifiants d'images obtenus (18), il reste à chercher (19) les images DICOM associés (20). Ensuite, les images peuvent être affichées (21). Une fois les classes d'images déduites (16), celles-ci peuvent

#	Entrée	Sortie
R1	TBox \mathcal{T} ABox \mathcal{A} Requête C	Tous $i \in \mathcal{A}$ Tel que $\mathcal{T}, \mathcal{A} \models C(i)$
R2	TBox \mathcal{T} Requête A Concept classification D	Tous concepts $C \in \mathcal{T}$ Tel que $C \sqsubseteq A \sqcap D$
R3	TBox \mathcal{T} Requête A Concept classification D	Tous concepts $C \in \mathcal{T}$ Tel que $A \sqsubseteq C \sqsubseteq D$

TABLE 2 – Définitions des raisonnements proposés.

être affichées à l'utilisateur (17). Comme évoquée précédemment, une caractéristique intéressante de ce processus est que la recherche sémantique n'exclut pas la recherche syntaxique (elles sont même complémentaires). En effet, une fois la liste des mots clés connue (8), un moteur de recherche par mots-clés peut être exécuté (22) pour récupérer les identifiants des images (18) à partir de la base de données des mots-clés (3).

3.4 Expériences

Dans l'exemple de la section précédente, le système ne renvoie qu'une seule image, définie avec les mêmes concepts (donc pas d'inférence à proprement parler). Pour cette même requête, la recherche de classe aboutit au fait que c'est une annotation de lésion. Cela vient du fait que *Lesion* est le domaine des rôles *couleur* et *muqueuse*.

Voici maintenant un autre exemple avec l'annotation $\exists \text{represente} . (\text{Lesion} \sqcap \exists \text{observation} . \text{oneOf} \{ \text{completement_plane} \})$ pour la recherche d'images et $\text{Lesion} \sqcap \exists \text{observation} . \text{oneOf} \{ \text{completement_plane} \}$ pour la recherche de classes. On trouve 11 images pour la première, et on trouve la classification *ParisIIb* pour la seconde via le raisonnement R2, c'est-à-dire que *ParisIIb* est un sous-concept de l'annotation. Cette classe a la caractéristique de décrire des polypes ayant une forme complètement plane. Comme *Polype* est un sous-concept de *Lesion*, on infère que *ParisIIb* est un sous-concept de l'annotation.

Plus généralement, nous en sommes actuellement dans les premières étapes de l'expérimentation. Nos prochains tests seront qualitatifs sur des images réelles fournies par les gastroentérologues. L'objectif est d'améliorer la précision et de valider les raisonnements proposés. Nous mènerons ensuite une étude quantitative de mesures de performances.

4 Travaux connexes

Nous passons ici en revue les travaux concernant la gestion sémantique d'images médicales en mettant l'accent sur les approches LD.

4.1 Les ontologies médicales et gastroentérologiques

En médecine, la construction de classifications n'est pas une tâche nouvelle. Leur ajouter une sémantique pour obtenir des ontologies est une démarche plus récente. En ce sens, les LD sont utilisées depuis une quinzaine d'années (Staab & Studer (2009); BioPortal (2013)). Le principal objectif des ontologies médicales (OpenClinical (2013)) est de rassembler les classifications existantes afin de relier des concepts synonymes Galen (2013); University (2002); SnomedCT (2007). Cependant, comme précisé ci-après, l'ambition d'utiliser des ontologies est d'améliorer la gestion des données médicales au sens large. Nous nous référons à (BioPortal (2013)) pour un panel plus complet des ontologies existantes et des taxonomies de la médecine et de la biologie.

4.2 Annotation d'images

Une utilisation concrète des ontologies médicales est l'annotation d'images. Le scénario Medico (Theseus (2009)) du projet Theseus, vise à mettre en place des normes pour la syntaxe et la sémantique de l'annotation d'images médicales par des ontologies, avec comme but d'offrir aux praticiens une aide au diagnostic. De même, nous proposons un mécanisme d'annotation basé sur une ontologie. Cependant, notre domaine se limite à des polypes. De plus, notre ambition est d'abord de proposer une infrastructure sémantique pour gérer les images. Le fait qu'elle puisse offrir une aide au diagnostic est une conséquence, mais non l'objectif premier.

Le projet AIM (AIM (2010)), vise à mettre en place une norme basée sur des lexiques pour l'annotation et le balisage des images médicales. Notre approche diffère par le fait que nous avons mis les capacités sémantiques au cœur du système, puisque nous utilisons une vraie ontologie (pas un lexique), associé à des raisonnements. Les caractéristiques sémantiques ne semblent pas être un objectif principal du projet AIM.

D'autres travaux traitent du problème de l'annotation sémantique d'images (S. Dasmahapatra & Shadbolt (2005); Rubin *et al.* (2008); Wennerberg *et al.* (2011)). Notre proposition est proche de ces travaux dans l'utilisation des LD notamment, mais diffère dans les raisonnements de recherche utilisés (voir la section suivante).

4.3 Raisonnement

Les raisonnements LD de recherche d'images sont généralement basés sur la classification (subsomption) et la recherche d'individus. Les différences se situent en général autour de la notion de proximité utilisée pour qualifier les bonnes images réponses par rapport à une requête. On peut trouver deux approches classiques dans la littérature (Sciascio *et al.* (2000); Hu

et al. (2003); Rubin *et al.* (2008); Opitz *et al.* (2009)) : ces deux approches correspondent à notre R1, qui est la recherche classique d'individus, et la composition de R2 suivie de R1. D'autres approches sont basées sur des raisonnements LD non standard appelé abduction et contraction (Di Noia *et al.* (2005); Colucci *et al.* (2011)). Ces raisonnements, plus complexes que les premiers, nécessitent en contrepartie l'utilisation de LD moins expressives. Leur intérêt vient de ce qu'ils permettent un classement automatique plus fin des réponses que les précédents. Dans notre approche, nous pouvons réaliser le même genre de classement, non directement via les raisonnements, mais par l'interaction entre l'utilisateur et l'interface.

5 Conclusion et perspectives

À notre connaissance, dans le domaine de la gastroentérologie, ce travail est la première tentative d'utiliser une approche sémantique pour gérer les images endoscopiques. En résumé, nous avons proposé une approche complète d'annotation et recherche d'images fondée sur une nouvelle ontologie des polypes exprimée dans la LD *SHOIQ*⁺. Nos expérimentations ne sont pas encore terminées. Les raisonnements qui sont au cœur du mécanisme doivent être davantage validés et surtout optimisés pour approcher une exécution en temps réel. Le contenu de l'ontologie des polypes est en cours de validation par des experts. Enfin l'interface d'annotation doit être intensivement testée par les utilisateurs finaux pour être mise en correspondance étroite avec leur utilisation quotidienne et leurs contraintes.

En termes de perspectives, nous envisageons de poursuivre ce travail en mettant à profit des capacités de calcul du cloud pour effectuer nos raisonnements. Plusieurs travaux récents ont déjà évoqué cette question (Mutharaju *et al.* (2010); Kotoulas (2011); Aslani & Haarslev (2012)).

Une autre perspective d'amélioration de performances serait d'utiliser une approche « ontological query answering ». L'objectif est de traduire la requête et l'ontologie dans un contexte de bases de données relationnelles classiques afin de bénéficier des performances et optimisations des systèmes de gestion de base de données (relationnelles) existants (Cali *et al.* (2009); Lenzerini (2011)).

Enfin, une autre perspective de ce travail est liée au tri des résultats. Actuellement, ce classement est obtenu par l'interaction entre l'utilisateur et l'interface de navigation. Nous allons tenter de réécrire l'ontologie dans un langage moins expressif afin d'appliquer des raisonnements plus souples.

Remerciements

Ce travail est soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR au titre de subvention SYSEO-10-TECSAN-005-01).

Références

- AIM (2010). Annotation and image markup (aim) project. <https://ca-big.nci.nih.gov/community/tools/AIM>.
- ASLANI M. & HAARSLEV V. (2012). Concurrent classification of owl ontologies - an empirical evaluation. In *Description Logics*.
- F. BAADER, D. CALVANESE, D. L. MCGUINNESS, D. NARDI & P. F. PATEL-SCHNEIDER, Eds. (2007). *The Description Logic Handbook : Theory, Implementation, and Applications (2nd Edition)*. Cambridge University Press.
- BIOPORTAL (2013). Bioportal. <http://bioportal.bioontology.org/>.
- CALÌ A., GOTTLOB G. & LUKASIEWICZ T. (2009). A general datalog-based framework for tractable query answering over ontologies. In *PODS*, p. 77–86.
- COLUCCI S., NOIA T. D., SCIASCIO E. D., DONINI F. M. & MONGIELLO. M. (2011). *Description Logic-Based Resource Retrieval.*, p. 185–197. Encyclopedia of Knowledge Management.
- DI NOIA T., DI SCIASCIO E., DONINI F. M., DI CUGNO F. & TINELLI E. (2005). Non-standard inferences for knowledge-based image retrieval. In *EWIMT 2005 2nd European Workshop on the Integration of Knowledge, Semantic and Digital Media Techniques, IEE press*, p. 191–197 : IEE.
- DICOM (1993). Digital imaging and communications in medicine. <http://medical.nema.org/>.
- GALEN (2013). Galen and the galen-core high-level ontology for medicine. <http://www.opengalen.org/>.
- GRUBER T. (2009). *Encyclopedia of Database Systems*, chapter Ontology. Springer-Verlag.
- HERMIT (2013). The hermit owl2 reasoner. <http://www.hermit-reasoner.com/>.
- HU B., DASMAHAPATRA S., LEWIS P. H. & SHADBOLT N. (2003). Ontology-based medical image annotation with description logics. In *ICTAI*, p. 77–.
- KOTOULAS S. (2011). Linked data reasoning on the cloud. <http://prezi.com/pb5qkm6uv4t8/reasoning-on-the-cloud/>.
- KUDO S., HIROTA S., NAKAJIMA T., HOSOBÉ S., KUSAKA H., KOBAYASHI T., HIMORI M. & YAGYUU A. (1994). Colorectal tumours and pit pattern. *J Clin Pathol*, **47**.
- LENZERINI M. (2011). Ontology-based data management. In *Proceedings of the 20th ACM international conference on Information and knowledge management, CIKM '11*.
- MEGHINI C., SEBASTIANI F. & STRACCIA U. (2001). A model of multimedia information retrieval. *J. ACM*, **48**(5), 909–970.

- MOTIK B., SHEARER R. & HORROCKS I. (2009). Hypertableau reasoning for description logics. *J. Artif. Intell. Res. (JAIR)*, **36**, 165–228.
- MST (2009). Mst - minimal standard terminology for gastrointestinal endoscopy. <http://www.worldendo.org/mst.html>.
- MUTHARAJU R., MAIER F. & HITZLER P. (2010). A mapreduce algorithm for el+. In *Description Logics*.
- OPENCLINICAL (2013). Openclinical : knowledge management for medical care. <http://www.openclinical.org/ontologies.html>.
- OPITZ J., PARSIA B. & SATTLER U. (2009). Using ontologies for medical image retrieval - an experiment. In *OWLED*.
- OWL (2007). Owl, the web ontology language. <http://www.w3.org/2007/OWL>.
- PARIS (2003). The paris endoscopic classification of superficial neoplastic lesions : esophagus, stomach, and colon : November 30 to december 1, 2002. *Gastrointestinal Endoscopy*, **58**(6 Suppl), 3–43.
- RJ S., RH R., Y K., F B. & AL (2000). The vienna classification of gastrointestinal epithelial neoplasia. *Gut.*, **47**, 251–255.
- RUBIN D. L., MONGKOLWAT P., KLEPER V., SUPEKAR K. & CHANNIN D. S. (2008). Medical imaging on the semantic web : Annotation and image markup. In *AAAI Spring Symposium : Semantic Scientific Knowledge Integration*, p. 93–98 : AAAI.
- S. DASMAHAPATRA, D. DUPPLAW B. H. P. L. & SHADBOLT N. (2005). Ontology-mediated distributed decision support for breast cancer. In *AIME 2005, LNAI 3581*, p. 221–225 : Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- SCIASCIO E. D., DONINI F. M. & MONGIELLO M. (2000). Semantic indexing in image retrieval using description logic. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Information Technology Interfaces*.
- SNOMEDCT (2007). Systematized nomenclature of medicine - clinical terms. http://www.nlm.nih.gov/research/umls/Snomed/snomed_main.html.
- S. STAAB & R. STUDER, Eds. (2009). *Handbook on Ontologies*, volume XIX of *International Handbooks on Information Systems*. 2nd ed. edition.
- SYSEO (2011). Multimodal and multimedia image analysis and collaborative networking for digestive endoscopy. <http://www.syseo-anr.fr/-Home->.
- THESEUS (2009). Theseus project, medico scenario. <http://theseus.pt-dlr.de/en/920.php>.
- UNIVERSITY S. (2002). The institute for formal ontology and medical information science. <http://ifomis.org/>.
- WENNERBERG P., SCHULZ K. & BUITELAAR P. (2011). Ontology modularization to improve semantic medical image annotation. *Journal of Biomedical Informatics*, **44**(1), 155–162.