

Implémentation d'un raisonnement spatial qualitatif sur les relations RCC8 au moyen de OWL et de SWRL

Stella Marc-Zwecker¹, François de Bertrand de Beuvron²,
Cecilia Zanni-Merk², Florence Le Ber³

ICube,¹Université de Strasbourg,²INSA de Strasbourg,³ENGEES, CNRS
300 Bd S. Brant, BP 10413, F-67412 Illkirch cedex
stella@unistra.fr, debeuvron@unistra.fr,
merk@unistra.fr, florence.leber@engees.unistra.fr

Résumé : La théorie des relations topologiques RCC (Region Connection Calculus) et en particulier son sous-ensemble RCC8, ont été largement utilisés dans le cadre du raisonnement spatial qualitatif. Divers ensembles de primitives de calcul, dont l'ensemble CM8, ont ensuite été proposés afin de permettre une implémentation des relations RCC8 dans le contexte de la reconnaissance d'images. Dans cet article, nous proposons une représentation réifiée des relations spatiales RCC8 et des primitives de calcul CM8 au sein d'un treillis de concepts implémenté en OWL (Web Ontology Language). Notre approche permet une représentation directe des concepts correspondant aux conjonctions ou aux disjonctions des relations RCC8, et offre ainsi l'avantage de pallier les lacunes des approches existantes en OWL, qui expriment les relations spatiales sous forme de rôles. En effet, OWL ne permet pas l'expression des conjonctions ou des disjonctions de rôles. Nous pouvons alors implémenter un raisonnement sur les relations RCC8, qui permet en particulier de calculer la table de composition et sa fermeture transitive. La réification des rôles entraîne cependant la perte des propriétés qui leur sont associées en OWL, telles que les propriétés des relations inverses, symétriques ou transitives. Nous rétablissons explicitement ces propriétés sous forme de règles SWRL (Semantic Web Rule Language).

Mots-clés : raisonnement spatial qualitatif, RCC8, CM8, OWL, SWRL

1 Introduction

La disponibilité croissante des images satellites à très haute résolution offre une opportunité majeure pour l'extraction automatique d'objets urbains issus de l'image. Afin d'identifier ces objets, il est nécessaire d'utiliser des approches basées sur la représentation des connaissances du do-

maine. Nous avons choisi de formaliser et d'exploiter ces connaissances au moyen d'une ontologie d'objets urbains (rues, maisons, plans d'eau, etc.) qui a pour but d'assister les experts géographes dans le processus d'interprétation des images (Cravero *et al.*, 2012). L'objectif à long terme est d'automatiser la reconnaissance des objets urbains extraits de l'image.

Dans notre ontologie, les objets urbains sont décrits en intension, i.e. à partir de la conceptualisation d'un dictionnaire défini par les experts géographes. Afin de conceptualiser les relations spatiales entre les objets, les géographes utilisent le modèle RCC8 (Randell *et al.*, 1992), qui définit huit relations topologiques de base entre des régions issues de l'image. Après avoir rappelé les principes de cette théorie, nous présentons un ensemble de huit primitives (CM8) (Napoli & Le Ber, 2007), qui peuvent être calculées par des routines de traitement de l'image, et permettent donc d'établir un lien avec les données réelles issues de l'image (problème connu sous le nom du *fossé sémantique*).

Nous présentons ensuite un état de l'art des approches utilisant le raisonnement spatial qualitatif, puis nous proposons de résoudre certaines lacunes de ces approches. Nous proposons en particulier de réifier les relations topologiques RCC8 et les primitives CM8 au sein d'un treillis de concepts implémenté en OWL (Grau *et al.*, 2008). Puis nous proposons d'utiliser des règles SWRL (Horrocks *et al.*, 2004) afin de raisonner sur ces concepts et de déduire en particulier la table de composition des relations RCC8 et sa fermeture transitive.

2 Les ensembles de relations topologiques RCC8 et CM8

2.1 L'ensemble des relations topologiques RCC8

L'ensemble RCC8 définit huit relations topologiques de base de la théorie RCC (« Region Connection Calculus ») et fournit un cadre conceptuel pour la représentation qualitative des relations spatiales entre deux régions x et y , dans un espace à n dimensions. Les relations de cet ensemble sont complètes et disjointes, ce qui signifie qu'elles permettent d'exprimer n'importe quelle configuration spatiale entre deux régions, et que si une de ces relations est vérifiée entre x et y , alors toutes les autres relations ne sont pas vérifiées. Les relations RCC8 sont les suivantes :

- $EQ(x, y)$ " x est identique à y "
- $TPP(x, y)$ " x est une partie propre tangentielle de y "
- $TPP^{-1}(x, y)$ " y est une partie propre tangentielle de x "
- $NTPP(x, y)$ " x est une partie propre non tangentielle de y "

- $NTPP^{-1}(x, y)$ "y est une partie propre non tangentielle de x"
- $PO(x, y)$ "x chevauche partiellement y"
- $EC(x, y)$ "x et y sont connectées par leur frontière"
- $DC(x, y)$ "x est déconnectée de y"

Les relations mathématiques ci-dessous permettent de raisonner sur les relations RCC8 :

- la relation *inverse* d'une relation r est la relation r^{-1} telle que $\forall x, \forall y, r(x, y) \Leftrightarrow r^{-1}(y, x)$
- les relations $r1$ et $r2$ sont *disjointes* si $\forall x, \forall y, r1(x, y) \Rightarrow \neg r2(x, y)$
- le *complément* d'une relation r est la relation rc telle que : r et rc sont disjointes et $\forall x, \forall y, r(x, y) \vee rc(x, y)$ est vrai.
- étant données trois régions spatiales x, y, z , et une paire de relations $r1$ et $r2$, la *composition* de $r1(x, y)$ et $r2(y, z)$ est la disjonction $r(x, z)$ de toutes les relations possibles entre x et z .

La relation de composition est particulièrement intéressante, car elle permet d'inférer des relations possibles entre x et z , à partir des relations connues entre x et y d'une part, et y et z d'autre part.

Les règles de composition sur les relations RCC8 sont représentées dans une table de composition (Randell & Cohn, 1992).

2.2 L'ensemble des primitives de calcul CM8

Pour nombre d'applications se pose le problème du calcul des relations topologiques, que ce soit dans des bases de données spatiales ou sur des images. Des méthodes de calcul ont été proposées dans (Egenhofer, 1989; Egenhofer & Sharma, 1993; Clementini *et al.*, 1993). Elles utilisent les notions d'intérieur et de frontière d'une région et sont reliées à des modèles formels des relations topologiques.

La méthode décrite dans (Egenhofer, 1989) concerne les représentations vectorielles utilisées dans les systèmes d'information géographique : une région x de dimension n est caractérisée par son *intérieur* x° (de même dimension) et sa *frontière* ∂x (de dimension $n - 1$). Les intersections de ces deux ensembles pour deux régions définissent quatre opérations : $\partial x \cap \partial y$, $x^\circ \cap y^\circ$, $\partial x \cap y^\circ$ et $x^\circ \cap \partial y$. Une relation topologique entre deux régions est caractérisée de manière unique par les valeurs obtenues en appliquant ces quatre opérations sur les ensembles intérieurs et frontières des deux régions. Cette méthode est intéressante car elle permet d'exprimer les relations de RCC8 en termes de conditions nécessaires et suffisantes sur des régions. Elle nécessite toutefois de disposer d'une caractérisation des régions en termes d'intérieur et de frontière, ce qui pose problème

sur les images raster. On utilise en général une frontière externe, définie comme l'ensemble des pixels externes et adjacents à la région (Egenhofer & Sharma, 1993), mais cette définition ne rend pas bien compte de la notion de connexion qui est à la base de la théorie RCC8 : en effet, certaines régions déconnectées auront des points frontières communs et pourront donc être confondues avec des régions connectées.

Dans (Le Ber & Napoli, 2003), la frontière est définie par des *pixels abstraits* de même taille que les pixels de l'image et à cheval sur quatre de ces pixels (voir figure 1). Ceci revient à manipuler deux images et permet de respecter la notion de connexion.

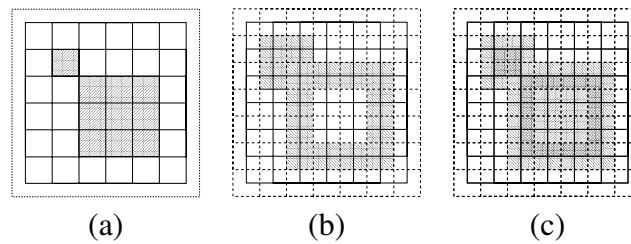


FIGURE 1 – Définition de la frontière d'une région par des pixels abstraits : (a) une région est constituée de pixels (hachurés) ; (b) la frontière de la région est constituée de pixels abstraits (hachurés inverses) qui chevauchent les pixels vrais ; (c) une vision superposée de la région et de sa frontière (Le Ber & Napoli, 2003)

Sur cette base, quatre opérations ont été proposées : les différences des deux ensembles de points intérieurs $x^\circ - y^\circ$ et $y^\circ - x^\circ$, l'intersection des deux ensembles de points intérieurs $x^\circ \cap y^\circ$ et l'intersection des deux ensembles de points frontières $\partial x \cap \partial y$. A partir de ces quatre opérations, on définit l'ensemble des huit primitives CM8 :

- $x^\circ - y^\circ = \emptyset$: « x est une partie de y » est noté $P(x, y)$,
- $x^\circ - y^\circ \neq \emptyset$: « x n'est pas une partie de y » est noté $NP(x, y)$,
- $y^\circ - x^\circ = \emptyset$: « x contient y » ou « y est une partie de x » est noté $P^{-1}(x, y)$,
- $y^\circ - x^\circ \neq \emptyset$: « x ne contient pas y » ou « y n'est pas une partie de x » est noté $NP^{-1}(x, y)$,
- $x^\circ \cap y^\circ = \emptyset$: « x ne chevauche pas y » est noté $DR(x, y)$,
- $x^\circ \cap y^\circ \neq \emptyset$: « x chevauche y » est noté $O(x, y)$
- $\partial x \cap \partial y = \emptyset$: « x ne partage pas une frontière avec y », est noté $NA(x, y)$,

– $\partial x \cap \partial y \neq \emptyset$: « x partage une frontière avec y » est noté $A(x, y)$.

Les primitives CM8 et les relations de base RCC8 s'expriment mutuellement les unes en fonction des autres comme le montre la table 1 :

TABLE 1 – Correspondance entre les relations RCC8 et les primitives CM8

	P	NP	P^{-1}	NP^{-1}	DR	O	NA	A
EQ	1	0	1	0	0	1	0	1
$NTPP$	1	0	0	1	0	1	1	0
TPP	1	0	0	1	0	1	0	1
$NTPP^{-1}$	0	1	1	0	0	1	1	0
TPP^{-1}	0	1	1	0	0	1	0	1
PO	0	1	0	1	0	1	0	1
EC	0	1	0	1	1	0	0	1
DC	0	1	0	1	1	0	1	0

En effet, ce tableau peut être interprété :

- selon les lignes : toute relation RCC8 s'exprime comme une *conjonction* de primitives CM8. Par exemple $EQ \Leftrightarrow P \wedge P^{-1} \wedge O \wedge A$ signifie que deux régions x et y sont identiques, si et seulement si, x est une partie de y , ET y est une partie de x , ET x et y se chevauchent, ET l'intersection des frontières de x et y est non vide.
- selon les colonnes : toute primitive CM8 s'exprime comme une *disjonction* de relations RCC8. Par exemple : $P \Leftrightarrow EQ \vee NTPP \vee TPP$ signifie que x est une partie de y , si et seulement si, x est égal à y , OU x est une partie propre tangentielle de y , OU x est une partie propre non tangentielle de y .

Nous avons implémenté le tableau ci-dessus au sein d'un treillis de concepts en OWL présenté dans la section 4.

3 D'autres approches pour le raisonnement spatial qualitatif basées sur RCC8

Depuis le début des années 90, de nombreux travaux ont été proposés sur la construction de modèles de connaissance basés sur les relations topologiques pour la représentation et le raisonnement spatial qualitatif. Ces travaux sont fondés sur les liens entre des relations topologiques et des

données vectorielles ou raster ou sur l'implémentation des relations topologiques dans des cadres logiques. Plus récemment, les auteurs proposent l'utilisation d'approches provenant du Web Sémantique, et en particulier les logiques de description, pour la modélisation et le raisonnement des relations spatiales. La plupart de ces approches soulignent le manque d'expressivité d'OWL.

Dans ces dernières années, plusieurs travaux ont essayé de pallier ces lacunes. (Hogenboom *et al.*, 2010) soulignent qu'OWL manque de fonctionnalités essentielles telles que les négations de rôles, ou d'axiomes sur les conjonctions, les disjonctions et les inclusions de rôles, pour représenter efficacement les relations RCC8, et proposent l'utilisation d'une logique plus spécifique pour exprimer certaines de ces constructions. (Jitkajornwanich *et al.*, 2011) formalisent des concepts et des opérations spatiales 2D dans une ontologie spatiale, implémentée comme un plug-in pour Protégé¹. Cependant les relations spatiales retenues par ces auteurs ne sont pas celles de RCC8, bien que la possibilité d'interrogation en utilisant des règles SWRL semble une approche intéressante, proche de la notre. (Batsakis & Petrakis, 2011) proposent une ontologie pour représenter et raisonner sur des informations spatio-temporelles en OWL. Cette ontologie permet de représenter des informations statiques et dynamiques, comme des objets dont la position évolue dans le temps et dans l'espace. Notre approche est axée sur la reconnaissance d'images urbaines satellites.

4 Implémentation d'un raisonnement spatial qualitatif en OWL et SWRL

Nous avons montré dans la section 3, que les approches existantes sur le raisonnement spatial qualitatif se heurtent au manque d'expressivité d'OWL, en particulier pour représenter la négation, la conjonction ou la disjonction des rôles. Or ces propriétés sont nécessaires pour implémenter des règles permettant de raisonner sur les relations RCC8. Dans cette section, nous présentons premièrement le principe de réification, puis nous montrons son utilisation pour implémenter un treillis de relations RCC8 et de primitives CM8. Celui-ci est complété par un ensemble minimal de règles SWRL, qui permet de réaliser un raisonnement sur la table de composition.

1. <http://protege.stanford.edu>

4.1 Réification des relations spatiales

Le mécanisme de réification est très utilisé en modélisation conceptuelle. Une association entre deux entités est dite réifiée, lorsqu'elle est transformée en une entité décrivant les caractéristiques de l'association.

Les relations spatiales RCC8 sont de simples relations binaires, mais il existe d'autres relations spatiales qui ont des attributs propres. Par exemple, dans le cadre de notre application d'analyse d'images satellites, la relation de distance entre objets requiert une valeur numérique. Ainsi, pour traiter de façon homogène toutes les relations spatiales, la réification s'impose. D'autre part, lorsque l'on raisonne sur les relations RCC8, de nouvelles relations sont construites à partir des huit relations de base, en appliquant la conjonction ou la disjonction. Or la disjonction des rôles ne peut pas être exprimée dans OWL. C'est pour cette raison que plusieurs extensions ont été proposées, comme nous l'avons montré dans la section 3.

Dans notre approche, nous modélisons les relations spatiales par des concepts de l'ontologie. Nous notons SR le sommet de la hiérarchie de toutes les relations spatiales. Ces concepts peuvent être naturellement combinés en utilisant l'ensemble complet des opérateurs logiques (et, ou, non), qui sont disponibles dans la logique de description \mathcal{ALC} associée à l'ontologie. Chaque instance du concept SR représente une relation entre deux objets géographiques concrets. Comme les relations spatiales ne sont pas symétriques dans le cas général, nous associons deux rôles fonctionnels distincts à une relation spatiale entre un premier objet géographique (*from*) et un deuxième objet géographique (*to*).

$$GeoObject \sqsubseteq \neg SR$$

(les objets et les relations spatiales sont disjoints)

$$SR \sqsubseteq (= 1from.GeoObject) \sqcap (= 1to.GeoObject)$$

(toute relation spatiale associe deux objets)

Nous définissons maintenant le concept général $RCC8 \sqsubseteq SR$, qui subsume les relations de base RCC8 et tout autre relation spatiale issue de celles-ci (y compris les primitives CM8).

Les huit relations de base RCC8 forment une partition (disjointe et complète) du concept général $RCC8$. Les huit primitives CM8 sont définies comme des disjonctions des huit relations RCC8 de base. Par exemple, les primitives P (inclusion) et O (chevauchement) s'expriment :

$$P \equiv EQ \sqcup NTPP \sqcup TPP$$

$$O \equiv EQ \sqcup NTPP \sqcup TPP \sqcup NTPP^{-1} \sqcup TPP^{-1} \sqcup PO$$

La définition des relations spatiales réifiées entre objets ne pose pas de problèmes particuliers, mais les notations sont plus complexes. Par exemple, nous définissons ci-dessous un lotissement ouvrier (*wHousing*) comme un ensemble de maisons (*House*) mitoyennes (relation d'adjacence *EC*) à l'intérieur (relation d'inclusion *P*) d'une zone urbaine (*uArea*) :

$$uArea \sqsubseteq GeoObject, House \sqsubseteq GeoObject$$

Sans réification, le lotissement ouvrier pourrait être défini comme ci-dessous (*Pr* et *ECr* seraient les rôles OWL correspondant aux relations spatiales *P* et *EC*) :

$$wHousing \equiv GeoObject \sqcap \exists Pr.uArea \sqcap \\ \forall Pr^{-1}.(\neg House \sqcup \exists ECr.House)$$

Après réification, les relations spatiales *P* et *EC* sont représentées par les concepts *P* et *EC* sous-concepts de *RCC8*. La définition du lotissement ouvrier se présente alors sous la forme :

$$wHousing \equiv GeoObject \sqcap \\ \exists from^{-1}.(P \sqcap \exists to.uArea) \sqcap \\ \forall to^{-1}.(\neg P \sqcup \forall from.(\neg House \sqcup \\ \exists to^{-1}.(EC \sqcap \exists from.House))$$

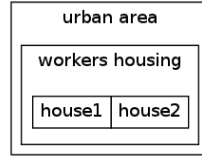
L'écriture est alourdie par la réification, mais la traduction des expressions non réifiées en expressions réifiées est facilement automatisable.

Au niveau de la Abox, des instances supplémentaires doivent être créées pour représenter les relations spatiales réifiées. La figure 2 illustre la Abox correspondant à une zone urbaine contenant un seul lotissement ouvrier (*wh1*), composé de seulement deux maisons (*h1*, *h2*) mitoyennes. Les individus *sr_i* représentent les relations spatiales réifiées. Les relations spatiales indéfinies, donc de type *RCC8* ont été omises par souci de concision.

La représentation que nous proposons permet une description précise des relations spatiales entre instances. Par exemple :

- $o_1 : (= 2from^{-1}.\neg DC)$, deux objets exactement sont connectés avec o_1 . La nature précise de la connexion (*EQ*, *NTTP*, *P*...) est inconnue (par exemple, le logiciel d'analyse des images n'a pas été capable de la déterminer).
- $o_2 : (<= 3from^{-1}.O) \sqcap \exists from^{-1}.P$, au plus trois objets se chevauchent avec o_2 , dont un, au moins, contient o_2 .

Nous avons présenté jusqu'ici les avantages de notre modèle de relations réifiées, mais certains de ses défauts sont importants. En effet, il n'est pas



$h1 : House, h2 : House, wh1 : wHousing, ua1 : uArea$
 $sr_1 : EC, from(sr_1, h1), to(sr_1, h2)$
 $sr_2 : P, from(sr_2, h1), to(sr_2, wh1)$
 $sr_3 : P, from(sr_3, h2), to(sr_3, wh1)$
 $sr_4 : P, from(sr_4, wh1), to(sr_4, ua1)$

FIGURE 2 – Exemple d’une ABox correspondante à une zone urbaine qui contient un seul lotissement ouvrier

possible d’exprimer directement la correspondance entre une relation et son inverse : les quatre relations RCC8 de base EQ , PO , EC , et DC sont symétriques. Dans l’exemple précédent, nous avons fait l’hypothèse que la maison $h1$ était adjacente (EC) à la maison $h2$. Or rien ne permet d’en déduire que $h2$ est adjacente à $h1$.

Par ailleurs, les quatre autres relations RCC8 forment explicitement des couples de relations inverses : TPP^{-1} est l’inverse de TPP , et $NTPP^{-1}$ est l’inverse de $NTPP$. Dans ce cas aussi, le système ne pourra pas inférer que $o_2TPP^{-1}o_1$ à partir de o_1TPPo_2 .

Enfin, dans notre exemple, la maison $h1$ est incluse (P) dans le lotissement ouvrier $wh1$, qui est lui-même inclus dans la zone urbaine $ua1$. Or il est pour l’instant impossible d’en déduire que $h1$ est incluse dans $ua1$ (transitivité de la relation d’inclusion).

Nous montrons dans la section suivante comment pallier ces lacunes.

4.2 Utilisation des règles SWRL pour simuler les propriétés des rôles

Nous avons défini deux types de règles permettant de traiter, d’une part, le cas des relations symétriques, inverses et transitives, et d’autre part, la construction de la table de composition. Les relations symétriques, inverses et transitives ne posaient pas de problème avant la réification, car OWL permet de définir des rôles symétriques, inverses et transitifs. Cependant, il n’est plus possible d’exprimer dans OWL ce type de correspondance

entre des relations réifiées. Pour résoudre ce problème, nous proposons d'utiliser des règles SWRL. Nous avons en effet montré dans la section 2 qu'il est très simple d'exprimer que des relations spatiales sont symétriques ou inverses en logique du premier ordre :

$$\forall o_1 \forall o_2 EQ(o_1, o_2) \Rightarrow EQ(o_2, o_1) \quad (\text{relation symétrique})$$

$$\forall o_1 \forall o_2 TPP(o_1, o_2) \Rightarrow TPP^{-1}(o_2, o_1) \quad (\text{relation inverse explicite})$$

Après la réification, les relations spatiales deviennent des objets logiques (r_1 et r_2), et les règles ci-dessus sont développées de la façon suivante en syntaxe SWRL² :

$$\begin{aligned} &EQ(?r_1) \wedge from(?r_1, ?o_1) \wedge to(?r_1, ?o_2) \wedge from(?r_2, ?o_2) \\ &\quad \wedge to(?r_2, ?o_1) \Rightarrow EQ(?r_2) \\ &TPP(?r_1) \wedge from(?r_1, ?o_1) \wedge to(?r_1, ?o_2) \wedge from(?r_2, ?o_2) \\ &\quad \wedge to(?r_2, ?o_1) \Rightarrow TPPi(?r_2) \end{aligned}$$

On utilise le même principe pour représenter les règles de composition des relations RCC8. Par exemple, la composition de la relation PO par TPP est TPP OU $NTPP$ OU PO :

$$\forall x, y, z PO(x, y) \wedge TPP(y, z) \Rightarrow TPP(x, z) \vee NTPP(x, z) \vee PO(x, z)$$

SWRL est basé sur l'utilisation de clauses de Horn. Or la tête d'une clause de Horn ne peut pas être une disjonction. Ce problème est facilement résolu en créant un nouveau concept chaque fois qu'une disjonction de clauses est déduite par une règle de la table de composition. Ainsi, le concept TPP_NTPP_PO est défini comme la disjonction de concepts $TPP \vee NTPP \vee PO$ dans l'ontologie puis utilisé dans la règle suivante :

$$\begin{aligned} &PO(?r_1) \wedge from(?r_1, ?o_1) \wedge to(?r_1, ?o_2) \wedge \\ &TPP(?r_2) \wedge from(?r_2, ?o_2) \wedge to(?r_2, ?o_3) \wedge \\ &from(?r_3, ?o_1) \wedge to(?r_3, ?o_3) \Rightarrow TPP_NTPP_PO(?r_3) \end{aligned}$$

Plus formellement, pour déterminer l'ensemble de règles nécessaires pour assurer un raisonnement complet sur une table de composition, nous notons \mathcal{ER} l'ensemble des relations spatiales élémentaires et $\mathcal{R} = 2^{\mathcal{ER}}$ l'ensemble des parties de \mathcal{ER} . Chaque ensemble de \mathcal{R} dénote une disjonction de relations spatiales élémentaires. Nous notons $er_i \in \mathcal{ER}$ les relations spatiales élémentaires, et $sr_i \in \mathcal{R}$ les relations spatiales disjonctives. Une table de composition élémentaire \mathcal{ECT} est une fonction \mathcal{ECT} :

2. SRi représente la relation inverse d'une relation spatiale quelconque SR

$\mathcal{ER} \times \mathcal{ER} \rightarrow \mathcal{R}$. Une table de composition généralisée $\mathcal{CT} : \mathcal{R} \times \mathcal{R} \rightarrow \mathcal{R}$ peut être dérivée à partir d \mathcal{ECT} par :

$$\mathcal{CT}(sr_1, sr_2) = \bigsqcup_{er_1 \in sr_1} \bigsqcup_{er_2 \in sr_2} \mathcal{ECT}(er_1, er_2)$$

Un sous-ensemble $\mathcal{S} \subseteq \mathcal{R}$ est fermé par rapport à une table de composition \mathcal{CT} si $\forall sr_1, sr_2 \in \mathcal{S} : \mathcal{CT}(sr_1, sr_2) \in \mathcal{S}$. Pour tout sous-ensemble $\mathcal{S} \subseteq \mathcal{R}$, il est immédiat de calculer sa fermeture $\mathcal{C}_{\mathcal{CT}}(\mathcal{S})$ par application répétée des règles \mathcal{CT} .

La table de composition généralisée \mathcal{CT} doit être traduite en un ensemble de règles SWRL, où chaque règle est un triplet $[sr_1, sr_2, sr_3 = \mathcal{CT}(sr_1, sr_2)]$. Comme chaque sr_i est une disjonction de relations élémentaires RCC8, quelques règles dans \mathcal{CT} peuvent être logiquement redondantes. Plus précisément, une règle $r1 = [sr_1^1, sr_2^1, sr_3^1]$ est plus générale qu'une règle $r2 = [sr_1^2, sr_2^2, sr_3^2]$ ($r2 \preceq r1$) si et seulement si :

$$r2 \preceq r1 \Leftrightarrow (sr_1^2 \subseteq sr_1^1 \wedge sr_2^2 \subseteq sr_2^1 \wedge sr_3^2 \subseteq sr_3^1)$$

Nous notons $\mathcal{G}_{\preceq}(\mathcal{CT})$ l'ensemble des plus grands éléments de \mathcal{CT} pour l'ordre partiel \preceq . Enfin, en fonction des capacités du logiciel d'analyse d'image, ou des besoins spécifique du domaine d'expertise, seul un sous-ensemble $\mathcal{UR} \subseteq \mathcal{R}$ de relations spatiales est effectivement utilisé. Dans notre approche, \mathcal{UR} représente l'ensemble des relations RCC8 étendu par l'ensemble des primitives CM8. L'ensemble des règles nécessaires pour un sous-ensemble de relations $\mathcal{UR} \subseteq 2^{\mathcal{ER}}$ est donc $\mathcal{G}_{\preceq}(\mathcal{CT} \upharpoonright_{\mathcal{C}_{\mathcal{CT}}(\mathcal{UR})})$ ³.

Par exemple dans la table de composition initiale, figurent trois règles indiquant respectivement pour les objets o_1, o_2, o_3 , que si o_1 est déconnecté de o_2 (DC), et que o_3 est identique (EQ) à o_2 (première règle), ou que o_3 est une partie propre tangentielle (TPPi) de o_2 (deuxième règle), ou que o_3 est une partie propre non tangentielle (NTPPi) de o_2 (troisième règle), alors o_1 est déconnecté de o_3 . Comme $Pi \Leftrightarrow EQ \vee NTPPi \vee TPPi$, ces trois règles sont factorisées en une seule règle SWRL, que la figure 3 illustre sous l'éditeur de Protégé :

Dans notre implémentation, le calcul de la fermeture transitive de la table de composition associée à l'ensemble \mathcal{UR} , génère 94 règles SWRL. Il est intéressant de noter que la prise en compte des primitives CM8 diminue légèrement le nombre de règles SWRL engendrées (100 règles pour RCC8 seul). En effet les primitives introduites par CM8 permettent de factoriser certaines règles (ordre partiel \preceq entre règles).

3. $f \upharpoonright_A$ dénote la restriction de f sur le domaine A

Rules:
$DC(?r1), Pi(?r2), RCC8(?r3),$ $from(?r1, ?o1), from(?r2, ?o2),$ $from(?r3, ?o1), to(?r1, ?o2), to(?r2,$ $?o3), to(?r3, ?o3) \rightarrow DC(?r3)$

FIGURE 3 – Règle SWRL correspondant à la composition de DC et de Pi

Nous présentons dans la figure 4 le treillis de concepts contenant les huit relations RCC8 de base, les huit primitives CM8 permettant de caractériser ces relations, ainsi que tous les concepts intermédiaires générés par les règles qui implémentent la fermeture transitive de la table de composition.

Remarquons que l'on retrouve dans le treillis la correspondance entre les relations RCC8 et les primitives CM8 (cf. Table 1) : une relation RCC8 est une conjonction de ses ancêtres CM8 (par exemple, $EQ \Leftrightarrow P \wedge PI \wedge O \wedge A$), et une primitive CM8 est une disjonction de ses descendants RCC8 (par exemple, $P \Leftrightarrow EQ \vee NTPP \vee TPP$).

4.3 Exemple de raisonnement

Nous reprenons l'exemple introduit dans la section 4.1, pour montrer comment notre système permet d'inférer de nouvelles relations spatiales liant les objets de l'ontologie du domaine. La figure 5 illustre dans la syntaxe Manchester OWL de Protégé, la définition d'un lotissement ouvrier ($wHousing$) comme étant un ensemble de maisons mitoyennes (adjacentes) à l'intérieur d'une zone urbaine ($uArea$).

Supposons maintenant que l'instance $wh1$ n'est pas associée à un lotissement ouvrier ($wHousing$) dans l'ontologie, i.e. :

$$h1 : House, h2 : House, ua1 : uArea$$

$$wh1 : GeoObject,$$

Le raisonneur de OWL n'infère pas que $wh1$ est une instance de lotissement ouvrier ($wHousing$). Ceci est dû à la sémantique de OWL-DL qui se base sur l'hypothèse du monde ouvert. En effet, même si le raisonneur déduit que $h1$ et $h2$ sont adjacentes, cela n'empêche pas de postuler l'existence d'une autre maison $h3$, qui serait incluse dans $wh1$ et non adjacente à $h1$ et $h2$. Pour résoudre ce problème, le logiciel d'analyse d'image doit pouvoir déterminer que $h1$ et $h2$ sont les seuls objets inclus dans $wh1$. Si tel est le cas, alors la description de l'instance $wh1$ doit être étendue par une contrainte de cardinalité (cf. figure 6). Le raisonneur (Hermit 1.3.6)

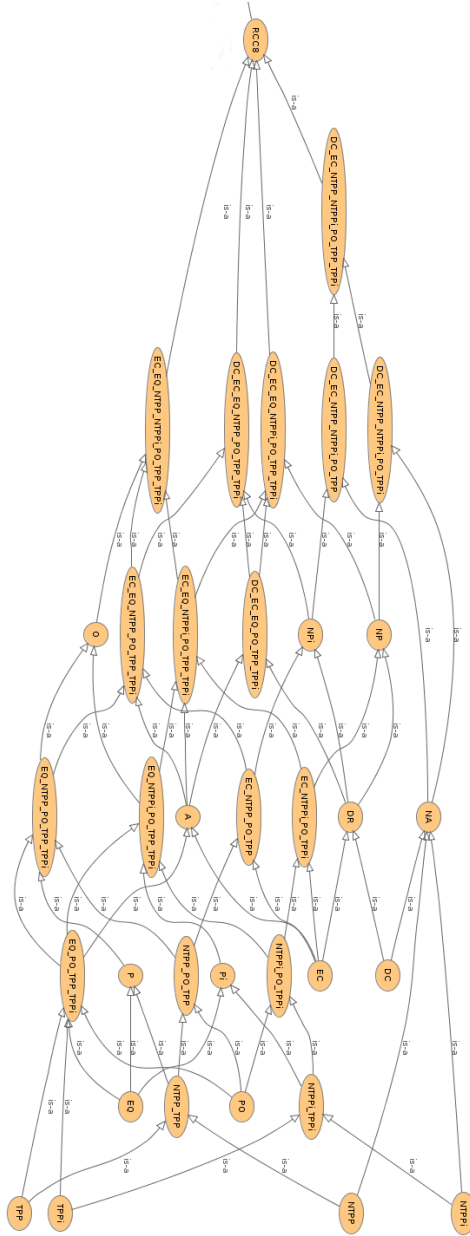


FIGURE 4 – Le treillis des relations spatiales RCC8, des primitives CM8, et des disjonctions de concepts générés lors de la fermeture transitive de la table de composition

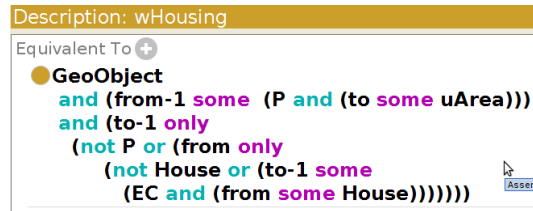


FIGURE 5 – Définition d’un lotissement ouvrier

peut alors inférer correctement que *wh1* est une instance de lotissement ouvrier.

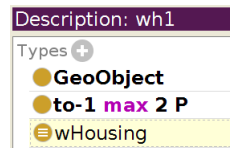


FIGURE 6 – Le raisonneur déduit que *wh1* est un lotissement ouvrier

Si maintenant on rajoute autre maison dans le lotissement ouvrier :

$$\begin{aligned}
 &isolatedHouse : House \\
 &sr5 : P, from(sr5, isolatedHouse), to(sr5, wh1)
 \end{aligned}$$

Sous l’hypothèse du monde ouvert, même si la maison isolée (*isolatedHouse*) n’est pas explicitement adjacente à *h1* ou à *h2*, elle n’est pas non plus définie comme étant non adjacente à *h1* et *h2*. Ainsi la ABox est encore consistante, bien qu’il soit requis que toutes les maisons appartenant à un lotissement ouvrier soient adjacentes à au moins une maison. Dans ce cas aussi les contraintes de cardinalité permettent de lever l’incertitude pour simuler un raisonnement dans un monde clos. Si le logiciel d’analyse d’image permet de déterminer que la maison est isolée, il suffit de rajouter dans la ABox :

$$isolatedHouse : \leq 0 from^{-1}.EC$$

La ABox devient alors inconsistante, traduisant ainsi le fait que *wh1* ne peut pas être un lotissement ouvrier car il contient une maison isolée.

5 Conclusions

Dans cet article nous avons présenté une approche originale pour l'implémentation en OWL d'un raisonnement spatial qualitatif sur les relations topologiques RCC8, qui permet de pallier le manque d'expressivité d'OWL pour la représentation des conjonctions ou des disjonctions de rôles. Cette approche, qui repose sur la réification des rôles, est complétée par l'utilisation des règles SWRL, pour rétablir la perte due à la réification, des propriétés intrinsèques des rôles OWL, telles que la symétrie ou la transitivité.

Un inconvénient de notre approche est la complexité supplémentaire induite par le processus de réification, qui provoque la création de n^2 instances de relations spatiales pour n objets géographiques. Un raisonneur optimisé pour l'exécution de règles SWRL avec de nombreuses instances est nécessaire.

En revanche, l'intérêt de notre proposition est double. D'une part, nous avons montré la faisabilité de l'implémentation au moyen d'OWL et de SWRL, d'un raisonnement complet permettant de calculer la table de composition des relations RCC8 et sa fermeture transitive. D'autre part, notre modélisation intègre l'expression des relations RCC8 en fonction des primitives de calcul CM8, ce qui ouvre des perspectives intéressantes pour une extraction automatique des relations topologiques entre objets, dans le contexte des applications de reconnaissance d'objets issus d'images satellites. En particulier, nous prévoyons d'implémenter les primitives de calcul CM8, pour les intégrer au logiciel de classification des régions issues de l'image qui a été développé au sein de notre équipe de recherche.

Le travail décrit dans cet article a été réalisé dans le cadre du projet COCLICO ANR-12-MONU-001.

Références

- BATSAKIS S. & PETRAKIS E. G. M. (2011). Sowl : A framework for handling spatio-temporal information in owl 2.0. In *RuleML Europe*, p. 242–249.
- CLEMENTINI E., FELICE P. D. & OOSTEROM P. V. (1993). A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. In *Proceedings of the Third International Symposium on Advances in Spatial Databases, SSD '93*, p. 277–295, London, UK : Springer-Verlag.
- CRAVERO M., ZANNI-MERK C., DE BERTRAND DE BEUVRON F. & MARC-ZWECKER S. (2012). A description logics geographical ontology for effective

- semantic analysis of satellite images. In *KES'2012 Conference*, volume 243, p. 1573–1582 : IOS Press.
- EGENHOFER M. J. (1989). A Formal Definition of Binary Topological Relationships. In W. LITWIN & H. SCHEK, Eds., *Foundations of Data Organization and Algorithms, FODO 1989, Paris, France*, LNCS 367, p. 457–472 : Springer Verlag.
- EGENHOFER M. J. & SHARMA J. (1993). Topological Relations Between Regions in \mathbb{R}^2 and \mathbb{Z}^2 . In D. J. ABEL & B. C. OOI, Eds., *Advances in spatial databases, Third International Symposium, SSD'93, Singapore*, LNCS 692, p. 316–336 : Springer Verlag.
- GRAU B. C., HORROCKS I., MOTIK B., PARSIA B., PATEL-SCHNEIDER P. & SATTLER U. (2008). OWL 2 : The next step for OWL. *Web Semantics : Science, Services and Agents on the World Wide Web*, **6**(4), 309 – 322. Semantic Web Challenge 2006/2007.
- HOGENBOOM F., BORGMAN B., FRASINCAR F. & KAYMAK U. (2010). Spatial knowledge representation on the semantic web. In *Proceedings of the 2010 IEEE Fourth International Conference on Semantic Computing, ICSC'10*, p. 252–259, Washington, DC, USA : IEEE Computer Society.
- HORROCKS I., PATEL-SCHNEIDER P. F., BOLEY H., TABEL S., GROSOFF B. & DEAN M. (2004). *SWRL : A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML*. W3c member submission, World Wide Web Consortium.
- JITKAJORNWANICH K., ELMASRI R., LI C. & MCENERY J. (2011). Formalization of 2-d spatial ontology and owl/protégé realization. In *Proceedings of the International Workshop on Semantic Web Information Management, SWIM '11*, p. 9 :1–9 :7, New York, NY, USA : ACM.
- LE BER F. & NAPOLI A. (2003). Design and comparison of lattices of topological relations for spatial representation and reasoning. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, **15**(3), 331–371.
- NAPOLI A. & LE BER F. (2007). The galois lattice as a hierarchical structure for topological relations. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, **49**(1–4), 171–190.
- RANDELL D. A. & COHN A. G. (1992). Exploiting lattices in a theory of space and time. *Computers and Mathematics with Applications*, **23**(6-9), 459 – 476.
- RANDELL D. A., CUI Z. & COHN A. G. (1992). A spatial logic based on regions and connection. In *Proceedings 3rd International Conference on Knowledge Representation and Reasoning*.