

# Une approche ontologique pour automatiser le contrôle de conformité dans le domaine du bâtiment

Anastasiya Yurchyshyna\* \*\*, Catherine Faron-Zucker\*, Nhan Le Thanh\*, Celson Lima\*\*,

\* I3S, Université de Nice Sophia-Antipolis, CNRS  
930 route des Colles, BP 145, 06903 Sophia Antipolis, France  
{[@unice.fr">Catherine.Faron-Zucker, Nhan.Le-Thanh](mailto:Catherine.Faron-Zucker,Nhan.Le-Thanh)}@unice.fr

\*\* CSTB,  
290 route des Lucioles, BP 209, 06904 Sophia Antipolis, France  
{[@cstb.fr">celson.lima, anastasiya.yurchyshyna](mailto:celson.lima,anastasiya.yurchyshyna)}@cstb.fr

**Résumé.** Cet article présente la méthode et le système C3R pour vérifier de façon semi-automatique la conformité d'un projet de construction par rapport à des normes du bâtiment. Les projets de construction sont représentés par des graphes RDF et les normes par des requêtes SPARQL ; le processus de contrôle consiste en l'appariement des requêtes et des graphes. Son efficacité repose sur l'acquisition de connaissances ontologiques et sur un processus d'extraction de connaissances guidé par ce but spécifique de contrôle de conformité qui prend en compte les connaissances ontologiques acquises. Elle repose ensuite sur des méta-connaissances acquises auprès des experts du CSTB qui permettent de guider le contrôle lui-même : les requêtes représentant les normes sont annotées et organisées selon ces annotations. Ces annotations sont également utilisées dans les interactions avec l'utilisateur de C3R pour expliquer les résultats du processus de validation, en particulier en cas d'échec.

## 1 Introduction

Dans le domaine du bâtiment, une masse croissante de normes régissent l'exécution des projets de construction (e.g. bâtiments publics, maisons individuelles) et de nombreuses initiatives<sup>1</sup> sont lancées pour fournir des services électroniques de régulation. Un des objectifs généraux en est l'automatisation du contrôle de la conformité d'un projet de construction par rapport à un ensemble de normes techniques du bâtiment en vigueur. Cela constitue le cadre de notre travail au CSTB<sup>2</sup> et nous proposons ici un modèle de contrôle de conformité.

Les projets de construction sont maintenant communément décrits dans le modèle IFC<sup>3</sup>, un modèle orienté objet développé par l'IAI<sup>4</sup> pour faciliter l'interopérabilité dans le domaine de la construction. Il est pourvu d'une syntaxe ifcXML<sup>5</sup> ; des données ifcXML peuvent être automatiquement générées par les outils de COA dédiés à l'architecture ou par les convertis-

---

<sup>1</sup> OntoGov, INTELCTITIES, TERREGOV, QUALEG 2005, e-POWER, ISTforCE

<sup>2</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, <http://www.cstb.fr>

<sup>3</sup> Industry Foundation Classes

<sup>4</sup> International Alliance for Interoperability

<sup>5</sup> [www.iai-international.org/Model/IFC\(ifcXML\)Specs.html](http://www.iai-international.org/Model/IFC(ifcXML)Specs.html)

seurs de données EXPRESS<sup>6</sup>. Cependant, le langage de représentation ifcXML ne permet pas de capturer toute la sémantique des données d'un projet de construction indispensables pour vérifier la conformité de ce projet (Lima et al. 2006). Pour ce faire, nous proposons de construire une ontologie dédiée au contrôle de conformité à partir des classes du modèle IFC dont le choix est guidé par les concepts retrouvés dans les normes techniques. Ensuite, nous extrayons des données IFC des représentations de projets de construction qui reposent sur cette ontologie. Dans la perspective d'un service électronique de régulation disponible sur le web, nous adoptons les langages du web sémantique pour représenter formellement projets de construction, normes techniques et ontologie de contrôle de conformité.

Le cœur de notre modèle du contrôle de conformité consiste en l'appariement des représentations des normes avec celles des projets de construction. Son efficacité repose sur l'acquisition de connaissances ontologiques et sur le processus d'extraction de la représentation d'un projet orienté contrôle de conformité, qui prend en compte les connaissances ontologiques acquises. Elle repose ensuite sur des méta-connaissances acquises auprès des experts du CSTB qui permettent de guider le contrôle lui-même. Enfin, nous extrayons des annotations des normes et organisons leurs représentations selon ces méta-annotations. Cela permet de définir un ordonnancement des appariements à réaliser pour valider un projet par rapport à ces normes. Ces annotations sont également utilisées pour expliquer à l'utilisateur les résultats du processus de validation, en particulier en cas d'échec.

Dans la section 2 nous décrivons le processus d'acquisition de la description d'un projet de construction, guidé par l'ontologie de contrôle de conformité. La section 3 est dédiée au modèle de contrôle de conformité proprement dit et la section 4 présente l'ensemble de la méthode et du système C3R.

## 2 Acquisition de la représentation utile d'un projet

Guidés par le but spécifique du contrôle de conformité, nous définissons un modèle de représentation d'un projet de construction qui ne contient que les éléments utiles au processus de contrôle.

Notre méthode d'acquisition de connaissances requiert dans une première étape d'explicitier des représentations formelles des normes techniques. Nous ne nous intéressons pas ici au problème d'extraction de connaissances à partir de textes qui dépasse le cadre de notre travail. Dans notre cas, nous avons explicité manuellement auprès d'experts du CSTB et à partir de documentations techniques une base de contraintes représentant des normes relatives à l'accessibilité des bâtiments. Nous les représentons dans le langage SPARQL. En effet, une norme de construction peut être représentée par un ensemble de couples des requêtes. Dans chaque couple, la première requête exprime une condition d'application (e.g. « *Dans les bâtiments comportant plusieurs halls d'entrée* ») et la seconde requête porte sur une condition de conformité (« *tous les halls d'entrée doivent être accessibles* »). Formellement, elles sont représentées par:

- une requête SPARQL exprimant la contrainte d'avoir un hall d'entrée :

```
SELECT ?b WHERE {
  _b rdf:type ifc:ifcBuilding
  _b ifc:containsElement _hall
  _hall rfd:type ac:HallEntree }
```
- une requête SPARQL exprimant la contrainte d'accessibilité des halls d'entrée :

---

<sup>6</sup> standard de représentation conforme à la norme ISO 10303-11 (STEP part 11)

```

SELECT ?b display rdf WHERE {
  _b rdf:type ifc:IfcBuilding
  OPTIONAL {
    _b ifc:containsCorrespondingElement _h
    FILTER (_h = ifc:HalleEnreeAccessible)}
  FILTER (! bound(_h) )}

```

D'autre part, nous exploitons le CD REEF<sup>7</sup>, afin de développer des annotations RDF des requêtes de conformité contenant des méta-connaissances sur les normes de conformité, à partir desquelles nous avons formalisé ces requêtes. Ce second type d'annotation est relatif à l'origine de la requête de conformité (e.g. référence à un texte légal d'où elle a été extraite, article d'extraction, date de publication, etc.). Elles sont utilisées pour organiser la base de requêtes et pour expliquer à l'utilisateur les résultats du contrôle de conformité d'un projet.

La seconde étape de notre méthode d'acquisition est dédiée à la construction automatique d'une ontologie de contrôle de conformité, à partir des entités du modèle IFC intervenant dans les représentations des normes. Précisément, nous construisons une hiérarchie de concepts dans le langage RDFS et nous l'enrichissons ensuite par des concepts non IFC qui apparaissent dans la description des normes. La place de ces nouveaux concepts dans l'ontologie est identifiée par un expert du domaine.

Vient alors l'étape d'acquisition de la représentation d'un projet de construction utile au contrôle de conformité. Cette représentation est extraite des données IFC relatives au projet. Le processus d'acquisition est guidé par l'ontologie de contrôle construite lors de l'étape précédente. Nous extrayons une représentation RDF d'un projet de construction par transformation XSLT de données ifcXML qui ne conserve que la partie de la description des entités/rerelations IFC utile au contrôle de conformité.

Les requêtes SPARQL qui représentent les normes techniques que les projets de construction doivent satisfaire jouent ainsi le rôle de design pattern dans la construction des représentations de projets. De fait, nous ne conservons de la transformation XSLT des données ifcXML que les triplets RDF qui font intervenir des concepts présents dans l'ontologie de contrôle de conformité.

La représentation RDF d'un projet de construction extraite par transformation XSLT de données ifcXML est ensuite enrichie automatiquement par l'application en chaînage avant des règles ontologiques définies par des experts. C'est ce qui pourra rendre possible l'appariement de la représentation d'un projet avec celle d'une règle lorsque celle-ci fait intervenir des concepts non IFC.

### 3 Modèle de contrôle de conformité

Notre modèle du contrôle de conformité repose sur l'appariement des représentations des normes avec celles des projets de construction : l'appariement d'une requête SPARQL de conformité à une représentation RDF d'un projet de construction. Ces opérations d'homomorphisme de graphes sont maintenant bien connues et nous nous reposons sur les travaux de (Baget, 2005) et (Corby et al., 2006).

Afin de rendre efficace le processus de contrôle, la base des requêtes de conformité représentant les normes est organisée selon leurs méta-annotations (extraites du CD-REEF) de sorte qu'un ordre des appariements à effectuer peut être défini qui capture l'expérience experte acquise. Nous avons ainsi explicité auprès d'experts du CSTB des critères de classification des requêtes correspondant à une classification des normes que représentent les requêtes

<sup>7</sup>CD REEF : encyclopédie électronique des textes techniques et réglementaires de la construction

tes : thématique (e.g. accessibilité, acoustique), domaine d'application (e.g. établissements recevant du public), sujet d'une règle (e.g. elle s'applique à un « hall d'entrée »), etc. D'autre part, nous classons les requêtes de conformité sur la base des relations de spécialisation/généralisation qui existent entre leurs patterns de graphes. Ainsi, s'il n'existe pas d'appariement d'une requête donnée à l'annotation d'un projet de construction, nous éviterons de chercher inutilement des appariements des requêtes dont les graphes patterns seraient des spécialisations de celui de la première : il n'en existe pas.

La formalisation du raisonnement expert passe premièrement par l'analyse de l'ensemble des requêtes de conformité choisies par l'utilisateur, afin de vérifier la non existence de contradiction entre ces requêtes. Ensuite le choix par l'utilisateur de certaines requêtes peut suggérer la prise en compte d'autres requêtes complémentaires qu'il s'agit alors de lui proposer d'intégrer à sa sélection. Le traitement de requêtes dépend de l'organisation de la base de requêtes. Un algorithme d'application des requêtes de conformité modélisant un raisonnement expert prend en compte les principes suivants : (i) l'ordre de traitement des requêtes dépend des priorités relatives entre les classes de requêtes (e.g. sur une classification des requêtes selon leur niveau hiérarchique, celles représentant des lois sont prioritaires à celles représentant des décrets) ; (ii) au sein d'une même classe de requêtes, celles relatives aux connaissances les plus spécialisées sont prioritaires, c'est-à-dire celles dont le graphe pattern est une spécialisation de celui d'une autre (e.g. une requête relative à une *porte d'entrée* est prioritaire par rapport la même requête relative à une *porte* car dans le cas de non-conformité à la première, on en déduit la non-conformité à la seconde).

Les résultats de l'appariement sont ensuite analysés pour interpréter les causes d'une éventuelle non validation d'un projet de construction. Il s'agit tout d'abord de lister les requêtes de conformité qui échouent : (i) qui ont effectivement échoué ; (ii) pour lesquelles on peut déduire automatiquement l'échec (celles dont le graphe pattern est plus général que d'autres qui ont échoué et celles dont l'annotation représentant la condition d'application est plus générale que celles d'autres pour lesquelles l'appariement de leur annotation avec l'annotation du projet a échoué) ; (iii) qui ont échoué car l'annotation du projet de construction ne contient pas les connaissances nécessaires à la réalisation un appariement.

L'aboutissement du processus de contrôle de conformité est la génération d'un rapport de conformité. Pour chaque requête, le rapport indique si elle a réussi ou échoué ; dans le cas d'un échec, il indique les causes de non-conformité ou les insuffisances de l'annotation du projet (pour chaque requête qui échoue, quels éléments de l'annotation du projet de construction sont responsables de l'échec, c'est-à-dire empêchent l'appariement).

## 4 C3R : un modèle et un système

Nous avons baptisé le modèle de contrôle de conformité que nous proposons C3R (fig.1). Les principales étapes de C3R sont les suivantes : (1) Acquisition des requêtes de conformité ; (2) Acquisition des connaissances ontologiques ; (3) Organisation hiérarchique des requêtes ; (4) Acquisition de l'annotation d'un projet de construction ; (5) Validation par appariement et méta-raisonnement ; (6) Génération d'un bilan de conformité.

L'implémentation de C3R est en cours ; elle repose sur le moteur sémantique CORESE<sup>8</sup> développé à l'INRIA (Corby et al., 2006). Il offre une implémentation des langages RDF,

---

<sup>8</sup> Conceptual Resource Search Engine, <http://www-sop.inria.fr/acacia/soft/corese>

RDFS et SPARQL. Les mécanismes de raisonnement reposent sur une représentation interne des connaissances ontologiques et assertionnelles dans le modèle des graphes conceptuels (Sowa, 1984) (Berners-Lee, 2001). Il permet de chercher les réponses à une requête SPARQL relativement à une base RDF, en prenant en compte des connaissances ontologiques représentées en RDFS (Corby et Faron-Zucker, 2007). Il est en outre muni d'un moteur de règles d'inférence qui permet en chaînage avant de compléter une base de faits RDF à l'aide de règles ontologiques représentées sous la forme de couples de graphes RDF (Baget et Mugnier, 2002).

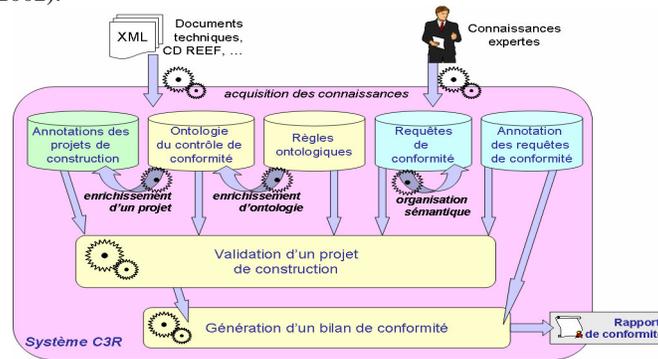


FIG. 1 – C3R in a nutshell

## 5 Travaux connexes

D'autres travaux de recherche sont en cours visant à la standardisation des représentations de projets de construction – sans s'intéresser cependant au problème particulier du contrôle de conformité. Parmi eux, certains adoptent comme nous une approche ontologique, (i) buildingSMART (Bell et Bjorkhaus, 2006) visant la construction d'une ontologie ; (ii) travaux de (Aranda-Mena et Wakefiel, 2006) visant l'évolution du standard IFC pour intégrer la représentation d'une ontologie.

Le problème du contrôle de conformité se pose dans d'autres domaines d'applications et nos travaux se rapprochent en ce sens de ceux sur la validation, parmi lesquels nous pouvons citer (Dibie-Barthélemy et al., 2004). Leur travail est consacré au problème de la validation de bases de connaissances construites sur le modèle des graphes conceptuels (Sowa, 1984), des contraintes étant exprimées sous la forme de graphes conceptuels certifiés fiables.

## 6 Conclusion et perspectives

Nous avons présenté le modèle C3R pour le contrôle semi-automatique de la conformité d'un projet de construction aux normes techniques du bâtiment en vigueur. Nous adoptons une approche ontologique pour résoudre ce problème et le système qui implémente C3R repose sur les langages et techniques du web sémantique. Un projet est valide par rapport à une norme si la représentation RDF du projet est une réponse à la requête SPARQL de conformité ; une norme s'applique à un projet si l'annotation de la requête de conformité peut être

appariée à celle du projet. L'acquisition de connaissances ontologiques est la clé de voûte de notre approche. L'extraction de la représentation d'un projet de construction à partir de données IFC est guidée par une ontologie de contrôle de conformité que nous construisons à partir du modèle IFC et par explicitation de connaissances expertes. Les requêtes de conformité et leurs annotations sont acquises à partir de données techniques et par explicitation de connaissances expertes au CSTB. L'organisation de la base de requêtes repose sur les annotations de celles-ci ; elle rend plus efficace et explicable à l'utilisateur le processus de contrôle de conformité d'un projet dans son ensemble.

L'implémentation de C3R est en cours ; un premier prototype simple existe et nous préparons l'organisation de la base de requêtes et son évaluation auprès d'experts du CSTB.

## Références

- Aranda-Mena G., Wakefield R. (2006). Interoperability of building information – Myth or reality? In *Proc. of the European Conference on Product and Process Modeling (ECPPM'2006)*, Valencia, Spain, 2006, pp. 127-134
- Baget J-F. RDF Entailment as a Graph Homomorphism, in *Proc. of the 4<sup>th</sup> conference on international semantic web conference (ISWC'2005)*, Galway (EI), LNCS 3729, Springer Verlag, pp 82-96, 2005
- Baget J-F., Mugnier M-L. Extensions of Simple Graphs: the Complexity of Rules and Constraints, *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16 (2002), 425-465
- Bell H., Bjorkhaug L., A buildingSMART Ontology. In *Proc. of the European Conference on Product and Process Modeling (ECPPM-2006)*, Valencia, Spain, 2006, pp. 185-190
- Berners-Lee T. Reflections on Web Architecture. *Conceptual Graphs and the Semantic Web*, 2001, accessible <http://www.w3.org/DesignIssues/CG.html>
- Corby O., Faron-Zucker C., Implementation of SPARQL Query Language based on Graph Homomorphism, in *Proc. of the 15<sup>th</sup> International Conference on Conceptual Structures (ICCS'2007)*, Sheffield, UK, LNCS, Springer Verlag
- Corby O., Dieng-Kuntz R., Faron-Zucker C., Gandon F. Searching the Semantic Web: Approximate Query Processing based on Ontologies, *IEEE Intelligent Systems* 21(1), 2006
- Dibie-Barthélemy. J., Haemmerlé O. et Salvat E. Validation de graphes conceptuels. In *Actes des 4<sup>èmes</sup> journées Extraction et Gestion des Connaissances, EGC'2004*, Clermont-Ferrand, 2004, RNTI-E2, Cépaduès, pp. 135-146.
- Lima C., Yurchyshyna A., Zarli A., Vinot B., Storer G. Towards a Knowledge-based comprehensive approach for the management of (e)regulations in Construction. In *Proc. of the European Conference on Product and Process Modeling (ECPPM-2006)*, Valencia, Spain, 2006, pp. 553-560
- Sowa J.F. *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*, Addison-Wesley, 1984.