GGOn : une ontologie des connaissances de la modélisation géologique

Imadeddine Laouici[1], Fatma Chamekh[1]

[1]BRGM, Orléans, F-45060, France

i.laouici@brgm.fr

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le projet Digital Earth, visant à centraliser et structurer les connaissances du sous-sol. La modélisation géologique y joue un rôle clé en représentant les objets géologiques à différentes échelles et mode de représentation. Cette hétérogénéité complique toutefois leur intégration et leur comparaison. Pour y remédier, cet article propose une ontologie dédiée à la modélisation géologique, construite à partir de ressources existantes selon la méthodologie Ontology Development 101.

Mots-clés

Ontologie, modélisation géologique, connaissance métier.

Abstract

This work is part of the Digital Earth project, which aims to build a unified platform to centralize, structure, and share subsurface knowledge. Geological modeling, a key component, represents geological objects and their properties across multiple spatiotemporal scales and representation paradigms. However, such heterogeneity of these representations and the lack of semantic alignment hinder integration, comparison, and exploration. To address this, we propose an ontology for geological modeling knowledge, developed by reusing existing resources and following the Ontology Development 101 methodology.

Keywords

Ontology, geological modeling, expert knowledge.

1 Introduction

Le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) est une référence en géosciences et produit des connaissances issues de l'interprétation experte du sous-sol [3]. Celles-ci reposent principalement sur trois types de sources complémentaires : (i) les cartes géologiques, représentant la surface via des entités vectorielles annotées [2] ; (ii) les modèles géologiques 3D, décrivant la géométrie et la topologie des objets dans l'espace à l'aide de méthodes de géomodélisation quantitatives [14]; et (iii) les documents géoscientifiques, qui explicitent les processus, contextes et lois géologiques.

Ces représentations sont hétérogènes mais complémentaires. Un même objet peut être modélisé sous forme de polygone, volume ou concept avec des propriétés différentes dans chaque représentation. Toutefois, l'absence d'un cadre sémantique unifié limite leur intégration, leur comparaison et leur réconciliation, encore largement manuelles et peu scalables à l'échelle nationale.

Pour structurer ces connaissances, les graphes de connaissances [11] offrent un cadre d'intégration et d'interopérabilité basé sur le Web sémantique, permettant également l'inférence de nouvelles connaissances. Leur construction repose toutefois sur une ontologie formelle [7], définissant une conceptualisation partagée du domaine.

Dans ce contexte, plusieurs approches ont été proposées. Les formats d'échange (e.g., GeoSciML [13]) structurent les données géologiques mais restent à un niveau bas sémantiquement. Les ontologies existantes couvrent soit la géologie générale (GeoCore [6], GSO [4]), ou des sous disciplines [1, 9, 12]. Bien que riches, aucune ne propose un cadre commun pour les entités géologiques et les artefacts utilisés dans leur représentation.

Par ailleurs, les méthodologies de construction d'ontologies convergent vers des cycles itératifs (spécification, conceptualisation, implémentation, validation), avec un accent croissant sur la réutilisation et la construction collaborative [5]. La conceptualisation demeure néanmoins l'étape centrale conditionnant la qualité du modèle [8].

Nous proposons ainsi GGOn (Geology & Geomodelling Ontology), une ontologie visant à unifier la description des connaissances de modélisation géologique en guise d'un support d'un graphe de connaissance selon trois exigences : réutilisation, modularité, et multi-niveaux.

La suite de l'article présente l'approche de construction de GGOn et son évaluation, puis les conclusions et perspectives.

2 Approche

Le périmètre de GGOn couvre la modélisation géologique dans une perspective d'intégration de sources hétérogènes, avec deux objectifs principaux : l'unification des représentations et la traçabilité sémantique. Les besoins ont été formalisés à travers des questions de compétence couvrant : l'identification des entités, leurs relations, leurs propriétés, ainsi que les capacités d'inférence et de détection d'incohérences. La première version de GGOn a été construite par réutilisation et intégration des entité de GSO [4] et POKIMON [9], complétées par des extensions ciblées (ex. contacts géologiques, relations topologiques) et une restructuration hiérarchique.

GSO a été exploitée pour les entités géologiques (objets, structures, propriétés), tandis que POKIMON a servi pour

les entités de modélisation (geomodels, processus, contraintes et règles). La construction suit la méthodologie Ontology Development 101 [10] (spécification, conceptualisation, implémentation, validation), adaptée ici à la fusion de deux ontologies déjà riches et fortement alignées, nécessitant principalement intégration et extension. Le processus a été enrichi par des boucles itératives entre validation, identification des entités et conceptualisation, permettant d'affiner progressivement la structuration des modules, d'en stabiliser les frontières et de réduire les dépendances entre concepts, afin de répondre aux exigences de la modularité et la représentation multi-niveaux.

La conceptualisation s'organise autour de quatre axes : (1) un noyau simplifié (GGOn-core), extrait de GSO (~300 classes) et de POKIMON (~20 classes; (2) un retravail de GSO fondé sur la conservation de sept modules jugés nécessaires au périmètre de l'ontologie; (3) l'ajout de concepts manquants ; et (4) la redéfinition de relations géologiques explicites afin de remplacer certaines relations trop abstraites héritées des ontologies de haut niveau dans GSO, qui limitaient le raisonnement logique. En complément, 35 règles d'inférence ont été formalisées pour dériver de nouvelles relations à partir de la méréologie et de la chronologie.

L'évaluation repose sur le peuplement de GGOn à partir de deux modèles 3D et d'une carte présentant des recouvrements et divergences sémantiques. Elle combine requêtes SPARQL, raisonnement OWL et vérification d'inférences. Les requêtes permettent effectivement de : (1) identifier les entités et leur hiérarchie, (2) extraire les relations géologiques, et (3) d'accéder aux propriétés (ex. âge). Le raisonnement permet de dériver des relations implicites et de vérifier la cohérence temporelle. Des incohérences volontaires ont été introduites via des âges contradictoires et des relations inverses, illustrant la capacité du système à détecter des contradictions sémantiques par inférence. Globalement, les résultats montrent que GGOn répond aux questions de compétence et satisfait les exigences en fournissant un cadre unifié pour la représentation, l'intégration et l'exploitation des connaissances géologiques hétérogènes.

3 Conclusion

Ce travail présente GGOn, une ontologie dédiée à la structuration des connaissances en modélisation géologique. Construite selon la méthodologie Ontology Development 101, elle fournit un cadre formel pour représenter et intégrer les connaissances issues de sources hétérogènes, notamment les cartes 2D et modèles 3D. La première version permet déjà de satisfaire les exigences et questions de compétence définies. Les perspectives portent sur l'extension de GGOn à de nouvelles sources du BRGM, notamment les données textuelles, ainsi que sur son enrichissement conceptuel et sémantique. Un accent sera mis sur le renforcement du cadre inférentiel, avec l'introduction de règles géologiques supplémentaires et de mécanismes de raisonnement spécialisés.

Remerciements

Ce travail a bénéficié du support du programme PEPR Sous-sol et plus spécifiquement le projet ciblé PC4 Digital Earth Platform ANR-22-EXSS-0005.

Remerciements

[1] H. A. Babaie, A. Davarpanah, J. M. Banda. Ontology of Optical Microscopic Imaging and Analysis. 2020, IN030-03, 2020.

[2] J. W. Barnes, R. J. Lisle. *Basic geological mapping*. John Wiley & Sons, 2013.

[3] C. E. Bond, C. Philo, Z. K. Shipton. When There isn't a Right Answer: Interpretation and reasoning, key skills for twenty-first century geoscience. *International Journal of Science Education*, 33, 629-652, 2011.

[4] B. Brodaric, S. M. Richard. The GeoScience Ontology. 2020, IN030-07, 2020.

[5] M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez. Overview and analysis of methodologies for building ontologies. *The Knowledge Engineering Review*, 17, 129-156, 2002.

[6] L. F. Garcia, M. Abel, M. Perrin, R. dos S. Alvarenga. The GeoCore ontology: A core ontology for general use in Geology. *Computers and Geosciences*, 135, 2020.

[7] T. R. Gruber. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International Journal of Human-Computer Studies*, 43, 907-928, 1995.

[8] N. Guarino, C. A. Welty. An Overview of OntoClean. In, S. Staab, R. Studer, *Handbook on Ontologies*, 201-220, Springer Berlin Heidelberg, 2009.

[9] I. Laouici, B. Brodaric, C. Loiselet, G. Laurent. Interpretation and Representation in Geomodels: The POKIMON Ontology for Formalizing Geomodelling Knowledge. 2025.

[10] N. Noy, D. L. McGuinness, others. Ontology development 101. *Knowledge Systems Laboratory, Stanford University*, 2001, 1-18, 2001.

[11] C. Peng, F. Xia, M. Naseriparsa, F. Osborne. Knowledge Graphs: Opportunities and Challenges. *Artificial Intelligence Review*, 56, 13071-13102, 2023.

[12] Y. Qu, M. Perrin, A. Torabi, M. Abel, M. Giese. GeoFault: A well-founded fault ontology for interoperability in geological modeling. *Computers & Geosciences*, 182, 105478, 2024.

[13] M. Sen, T. Duffy. GeoSciML: Development of a generic GeoScience Markup Language. *Computers & Geosciences*, 31, 1095-1103, 2005.

[14] F. Wellmann, G. Caumon. 3-D Structural geological models: Concepts, methods, and uncertainties. *Advances in Geophysics*, 59, 1-121, 2018.