

Bakillah, M, M.A. Mostafavi, Y. Bédard, 2006. Développement d'une Approche Géosémantique Intégrée pour Ajuster les Résultats des Requêtes Spatiotemporelles dans le Domaine Forestier. Colloque Géomatique 2006 – Au cœur des processus, 25-26 octobre, Montréal, Canada

Développement d'une Approche Géosémantique Intégrée pour Ajuster les Résultats des Requêtes Spatiotemporelles dans le Domaine Forestier

Mohamed Bakillah*, Mir Abolfazl Mostafavi, Yvan Bédard*****

Chaire Industrielle CRSNG en bases de données géospatiales décisionnelles
Centre de Recherche en Géomatique, 0611 Pavillon Casault, Département des Sciences
Géomatiques Faculté de Foresterie et de Géomatique
Université Laval, Québec, Canada, G1K 7P4

*Mohamed.bakillah.1@ulaval.ca

** Mir-Abolfazl Mostafavi @scg.ulaval.ca

*** Yvan Bédard @scg.ulaval.ca

Résumé

Dans le domaine forestier, la gestion des ressources naturelles se base sur les données recueillies lors des inventaires portant sur la représentation spatiale d'un même territoire à différentes époques. Au fil des inventaires, l'évolution naturelle, les interventions humaines, l'évolution des modes d'acquisition, des spécifications et des normes forestières créent une hétérogénéité spatiale et sémantique entre les différentes bases de données. Dans un processus décisionnel, ces données et spécifications sont structurées d'une façon multidimensionnelle dans des cubes de données géospatiales. Par conséquent, la structure multidimensionnelle est également amenée à évoluer, ce qui affecte la réponse aux requêtes spatiotemporelles. Dans le domaine forestier, la problématique de l'évolution de structure se traduit par l'impossibilité d'effectuer des analyses spatiotemporelles, par exemple sur l'évolution du volume de bois de certaines essences ou l'évolution des épidémies, affectant directement la prise de décision dans la gestion forestière. Cette problématique exige de concevoir de nouvelles solutions capables de préserver les liens entre les membres des différentes structures. Cependant, les solutions proposées ne tiennent pas compte de manière explicite et simultanée de l'évolution sémantique et géométrique de la structure. Afin d'apporter une solution plus adaptée aux réalités des phénomènes spatiotemporels, nous avons développé une approche géosémantique intégrée pour la gestion de l'évolution de la structure du cube afin d'ajuster la qualité de la réponse à la requête spatiotemporelle et ainsi offrir un meilleur support à la prise de décision. L'approche proposée définit une méthode de rétablissement des liens entre des versions du cube. Sur le plan sémantique, nous rétablissons les liens en employant une fonction de similarité sémantique basée sur l'ontologie et qui tient compte du plus fin niveau de définition des concepts. Au niveau géométrique, notre approche se base sur une méthode d'indexation Quadtree de l'outil Oracle spatial pour constituer une matrice de correspondances spatiales entre les géométries des différentes époques. Les liens résultants sont intégrés dans une méthode de transformation matricielle afin de pouvoir répondre d'une manière plus adaptée à des requêtes spatiotemporelles.

Mots clés : mapping sémantique, Quadtree, cube de données géospatiales, mesure de similarité, mapping géométrique.

1. Introduction

Les outils OLAP, basés sur une représentation multidimensionnelle, ont été introduits pour supporter l'analyse dans un contexte d'aide à la décision et pour permettre à l'utilisateur d'accéder et d'explorer les données selon différents thèmes de manière facile et rapide (Rivest *et al.*, 2005). La structure multidimensionnelle est formée des dimensions, qui sont les axes d'analyse thématique, et des faits, qui expriment la valeur des mesures par rapport aux membres des dimensions. Par exemple, la structure multidimensionnelle peut regrouper la dimension spatiale *géographie*, formée des niveaux *ville*<*région*<*pays*, et la mesure *taux de natalité*. La structure multidimensionnelle est amenée à subir des évolutions, non seulement au niveau des faits mais également au niveau des dimensions (Body *et al.*, 2002), qui sont pourtant considérées comme statiques. Les membres de la structure peuvent également être affectés soit par une évolution sémantique, géométrique ou les deux à la fois. L'évolution de la structure a pour conséquence d'affecter le traitement des requêtes temporelles, les résultats pouvant être faussés ou impossibles à obtenir (Thunheer, 2000 ; Body *et al.*, 2002 ; Eder *et al.*, 2003). Le fait qu'un objet possède plusieurs représentations structurelles empêche également d'agréger les données et de les comparer dans le temps.

Les approches proposées pour gérer la problématique de l'évolution de la structure multidimensionnelle (Balmin *et al.*, 2000 ; Mendelzon et Vaisman ; 2000 ; Morzy et Wrembel, 2004) ne considèrent pas explicitement et simultanément l'évolution sémantique et géométrique et permettent uniquement de gérer le cas où l'évolution de la structure est explicite, c'est-à-dire quand celle-ci est connue de l'administrateur et effectuée au moyen d'opérateurs d'évolution. Néanmoins, l'évolution peut également être générée lorsque plusieurs bases de données multidimensionnelles représentent une même réalité à différentes époques, par exemple si des données sont recueillies de manière indépendante sur un même territoire à des intervalles de temps réguliers. Dans ce cas, les liens sémantiques et géométriques entre les bases de données ne sont pas identifiés et la problématique de l'évolution est plus complexe à résoudre.

Afin de répondre à cette problématique, cet article propose une nouvelle approche de rétablissement de liens sémantiques et géométriques dans un cube évolutif en combinant l'apport du domaine des ontologies à celui des bases de données évolutives et emploie une fonction de rétablissement de liens basée sur un modèle de similarité sémantique. Au niveau géométrique, la méthode d'indexation de l'arbre quaternaire (quadtree) de l'outil Oracle Spatial s'avère plus adaptée aux données choisies pour l'application de notre approche. Par conséquent cette dernière a permis de créer une représentation commune adéquate pour comparer les polygones forestiers dans le temps. Les méthodes sémantiques et géométriques ont été fusionnées dans une approche géosémantique intégrée à l'aide d'une méthode de transformation matricielle du cube de données géospatiales permettant de répondre et d'ajuster la qualité des requêtes temporelles, ce qui se traduit par un impact direct sur le processus de prise de décision.

Le contenu de l'article est le suivant : la section 2 présente une brève revue de littérature sur les approches de mapping sémantiques et les méthodes d'indexation géométriques. La section 3 décrit l'approche géosémantique intégrée. La section 4 présente quelques résultats de l'application dans le domaine de la foresterie. Dans la section 5, nous concluons cet article.

2. Etat de l'art

Cet état de l'art est composé de deux parties, la première traitant des solutions apportées au problème de l'évolution et de l'hétérogénéité sémantique dans les ontologies et la seconde partie traitant des méthodes d'indexation pour gérer le problème d'évolution géométrique.

2.1 Évolution et hétérogénéité sémantique dans les ontologies

Le problème de l'hétérogénéité et de l'évolution sémantique a été plus largement exploré dans le domaine des ontologies, ces dernières se rattachant précisément à représenter la sémantique des données. Dans le domaine de l'intelligence artificielle, on définit l'ontologie comme une spécification explicite d'une conceptualisation (Gruber 1995), autrement dit, une ontologie désigne la représentation d'une modélisation conceptuelle.

L'ontologie constitue un cadre théorique intéressant pour le rétablissement de liens sémantiques, à partir duquel nous nous sommes inspirés pour constituer la solution au problème sémantique, c'est-à-dire que la structure multidimensionnelle peut être considérée comme une ontologie. De plus, tout comme la structure multidimensionnelle, les ontologies sont également appelées à évoluer en raison des modifications des spécifications, des normes, de la définition des concepts, *etc.* (Fernandez *et al.*, 1997 ; Klein, 2001 ; Charlet *et al.*, 2001 ; Sure *et al.*, 2004). Les méthodes de mapping constituent une approche visant à établir des liens entre les ontologies tout en conservant leur structure propre. Parmi ces méthodes, certaines emploient un modèle de similarité sémantique pour mettre en relation les concepts appartenant à deux ontologies (Doan *et al.*, 2002 ; Ehring *et al.*, 2004 ; Su *et al.*, 2004 ; Eurzenat *et al.*, 2004). Les différents modèles de similarité peuvent être regroupés selon la représentation des concepts qu'ils utilisent, soit le graphe de l'ontologie, les propriétés des concepts, le contenu en information, la représentation de ceux-ci dans un espace vectoriel ou une combinaison de ces différentes approches (les modèles hybrides). Notre approche se base sur le modèle Matching Distance (Rodriguez, 2000), qui se base sur le modèle ratio (Tversky, 1973) ainsi que sur des facteurs qui tiennent compte du contexte et de la distance dans le graphe de l'ontologie, pour produire un modèle de similarité associant des classes d'objets spatiaux appartenant à des ontologies différentes. Ce modèle a été amélioré et redéfini afin qu'il puisse, d'une part, s'adapter aux données forestières, par exemple pour tenir compte de propriétés complexes, telles que des propriétés associées à des domaines de valeurs (intervalles) ou prenant la forme de textes, et d'autre part, évaluer la similarité au plus fin niveau de définition des concepts et aux niveaux supérieurs de la hiérarchie du schéma des instances de la dimension. Pour une plus ample revue de littérature concernant les modèles de similarité sémantique, nous référons le lecteur à (Bakillah *et al.*, 2006).

2.2 Méthodes d'indexation pour la gestion du problème d'évolution géométrique

Les différentes versions d'un cube de données géospatiales peuvent contenir des données cartographiques recueillies à différentes époques mais représentant le même territoire. L'évolution du découpage territorial fait en sorte que la comparaison entre les entités spatiales identifiées à chaque époque ne peut être réalisée directement. L'évolution géométrique peut être résolue par l'application de méthodes vectorielles ou matricielles, une riche revue de littérature concernant les méthodes vectorielles étant discutée dans (Atef, 2001). Parmi les approches matricielles, les méthodes d'indexation des données spatiales ont pour rôle de supporter la représentation spatiale des objets et d'associer à ces représentations des opérations permettant de questionner la base de données, ces méthodes étant indépendantes de la distribution spatiale des objets, telles que les structures en grille et les arbres quaternaires (quadtree), ou à l'opposé, visant à représenter le regroupement des objets dans l'espace, dont l'exemple le plus connu est le R-Tree (Rigaux *et al.*, 2000). Les structures en grille produisent un découpage de l'espace en cellules de taille uniforme (méthode fixed grid) ou en cellules de taille variable (méthode grid file) dans le cas où la distribution des objets est non uniforme; elles ont pour inconvénient que le nombre de cellules formées par ce partitionnement peut

croître très rapidement pour des grands volumes de données. Elles peuvent être appropriées si la distribution et la taille des objets spatiaux sont uniformes, par contre pour des objets de dimensions variables, la méthode des arbres quaternaires est plus appropriée puisque le découpage s'adapte à la densité de l'information spatiale. Il existe plusieurs variantes de l'arbre quaternaire qui varient selon le type de données spatiales (points, lignes, polygones) et autres objets de dimension agrégée, les règles régissant la division des nœuds et la résolution, qu'elle soit variable ou non (Hjaltason et Samet, 2002). Les structures basées sur les objets, dont l'exemple typique est le R-tree, ont pour principe général de représenter des groupes d'objets dans l'espace. Les zones de l'espace englobant les groupes d'objets sont organisées hiérarchiquement selon les relations d'inclusions. Les arbres R ont été utilisés dans des méthodes d'indexation spatiotemporelles (Xu *et al.*, 1990; Theodoridis *et al.*, 1996; Nascimento *et al.*, 1998; Nascimento *et al.*, 1999). Ces méthodes sont plus efficaces que celles des arbres quaternaires pour effectuer certaines requêtes spatiales, par exemple les requêtes sur le voisinage d'un objet. Cependant, elles utilisent l'approximation du rectangle minimum englobant (RME) pour représenter les données spatiales, et donc l'approximation de la géométrie ne peut être raffinée, contrairement au cas de la méthode de l'arbre quaternaire. Elles ont aussi pour inconvénient, par rapport à notre contexte, de permettre aux rectangles de se chevaucher, nuisant aux performances des requêtes.

3. Approche proposée

L'approche géosémantique est conçue afin de permettre de traiter les requêtes temporelles dans des cubes de données géospatiales affectés par des évolutions sémantiques et géométriques. Elle intègre une méthode de transformation matricielle qui se fonde sur la possibilité de considérer, sur le plan conceptuel, les cubes de données et les relations entre les membres du schéma des instances d'une dimension comme des matrices multidimensionnelles (Eder *et al.*, 2002). Les matrices représentant les relations entre les membres de différentes versions permettent de lier les différentes versions d'un cube de données, également représentées sous forme matricielle.

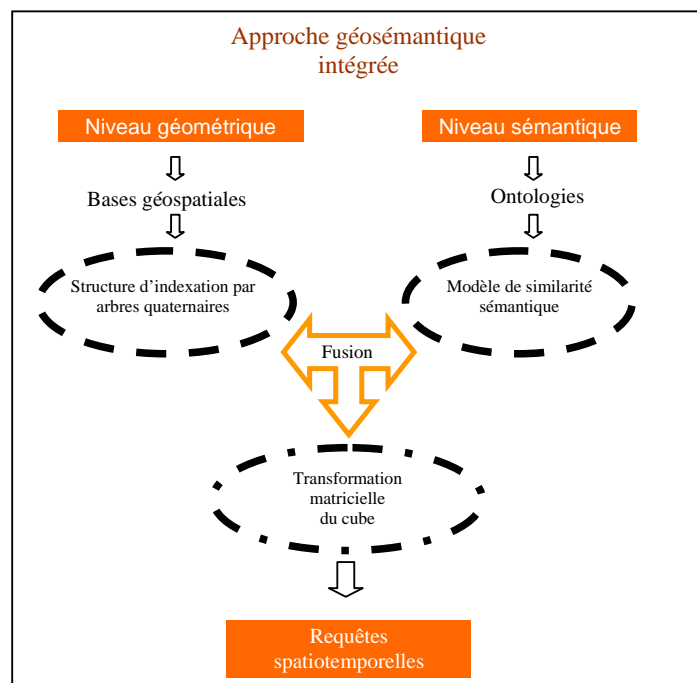


Figure 1 : Principe de l'approche géosémantique intégrée

La méthode permet de traiter tous les types d'évolution du schéma des instances et, par conséquent, tous les types d'évolution du schéma de la dimension, puisque ces derniers peuvent toujours se traduire par des changements sur le schéma des instances (par exemple, la suppression d'un niveau hiérarchique se traduit, dans le schéma des instances, par la suppression de tous les membres du niveau à supprimer). Finalement, l'approche géosémantique consiste à fusionner les méthodes de rétablissement des liens avec la méthode de transformation matricielle en considérant que les matrices de correspondances géométriques et sémantiques sont des matrices de transformation entre deux versions de la structure (figure 1).

3.1 Niveau sémantique

La méthode proposée suggère de concevoir la structure multidimensionnelle comme une ontologie évolutive afin d'évaluer la similarité sémantique entre les membres des schémas d'instances, et ce au moyen du modèle schématisé à la figure 2. Le contexte, défini par l'utilisateur, est intégré dans le modèle par la définition des poids qui pondèrent les différentes similarités du modèle global. La similarité est évaluée à trois niveaux, soit entre les propriétés des concepts, entre les concepts du niveau détaillé et ceux des niveaux agrégés, pour produire une fonction de similarité globale. Cette dernière permet de peupler les matrices de correspondances sémantiques qui lient les niveaux des schémas d'instances de deux versions du cube. La méthode sémantique détaillée ainsi que le modèle de similarité sémantique redéfini ont fait l'objet d'un article soumis et accepté (Bakillah *et al.*, 2006).

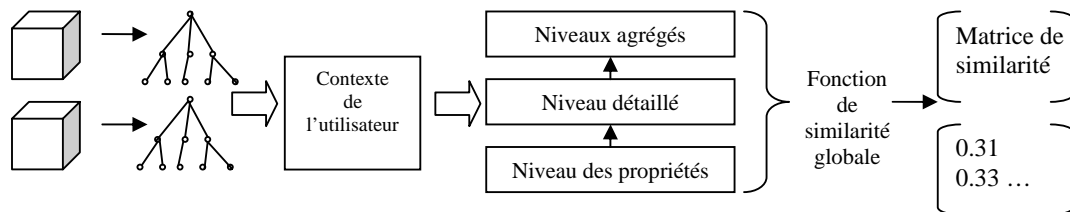


Figure 2 : Processus de rétablissement de liens sémantiques (Bakillah *et al.*, 2006)

3.2 Niveau géométrique

Afin de tenir compte de l'évolution des données forestières, il est nécessaire d'intégrer l'évolution géométrique des membres du schéma des instances de la dimension.

Les données géométriques (cartes) des différentes époques sont représentées à la même échelle et dans le même système de référence. Les données géométriques de chaque inventaire sont transformées en format ORACLE. Pour le partitionnement de l'espace avec la méthode de l'arbre quaternaire, nous utilisons SPATIAL ORACLE, un module incluant des opérateurs et des algorithmes de stockage, d'accès et d'analyse des données géospatiales contenues dans une base de données ORACLE (Murray *et al.*, 2003). Dans la phase suivante, l'identification des couples candidats permet de limiter le volume des opérations en sélectionnant les peuplements qui sont susceptibles de se chevaucher en tenant compte à la fois des relations géométriques et sémantiques. Le calcul des taux d'inclusion permet ensuite de peupler les matrices de correspondances géométriques qui seront utilisées pour traiter les requêtes spatio-temporelles (figure 3).

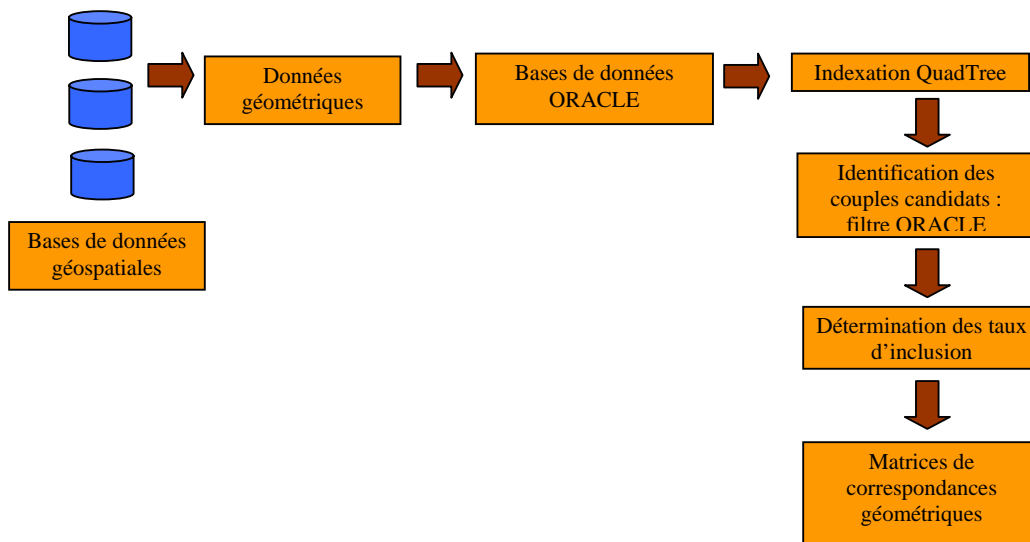


Figure 3: Approche de rétablissement de liens géométriques

3.3 Méthode matricielle de transformation du cube

La matrice des correspondances géométriques M_G est utilisée pour transformer les faits liés aux dimensions spatiales alors que la matrice de correspondances sémantiques M_S est utilisée pour transformer les faits liés aux dimensions dont les membres sont décrits par des attributs descriptifs de nature et de complexité variable. Les dimensions mixtes (spatiales et décrites par des attributs descriptifs) sont également traitées du fait que les matrices de correspondances géométriques peuvent être combinées pour former une matrice de correspondances globale, dite matrice de correspondances géosémantiques. Supposons qu'un membre d'une dimension spatiale d'une version hypothétique V_1 représente 80% de la surface d'un second membre issu de la version V_2 , et que la mesure de similarité sémantique indique 0.70, nous considérons alors ces membres similaires à 56%. Alors la matrice de correspondances géosémantiques est donnée par :

$$M_{GS}(V_1, V_2)_{ij} = (M_G(V_1, V_2))_{ij} * (M_S(V_1, V_2))_{ij}$$

À l'aide des matrices de correspondances (géométrique, sémantique et géosémantique), la méthode de transformation matricielle permet de traiter des requêtes temporelles, c'est-à-dire des requêtes portant sur des membres ayant été modifiés au cours du temps, à condition de connaître les relations qui lient ces membres. Les requêtes sont traitées en fonction d'une version choisie par l'utilisateur, c'est-à-dire que si l'utilisateur choisit la structure V_1 , toutes les données issues des versions concernées par la requête seront représentées par la méthode de transformation matricielle dans la version V_1 , donnant ainsi à l'utilisateur une réponse cohérente avec les paramètres de la requête, là où auparavant il était même impossible de fournir une réponse à de telles requêtes. La méthode de transformation matricielle permet de représenter les valeurs des mesures d'une version dans une seconde version par multiplication

matricielle. La représentation $Rep(V_1, V_2)$ des faits de la version V_1 dans la version V_2 s'écrit de la manière suivante :

$$Rep(V_1, V_2) = C(V_1)T(V_1, V_2)$$

ou $T(V_1, V_2)$ est une matrice de correspondances (géométrique, sémantique ou géosémantique) requise.

4. Application de l'approche

L'objectif de cette section est de donner un aperçu de l'approche géosémantique proposée afin de montrer qu'elle permet de rétablir les liens sémantiques et géométriques entre les différents cubes de données géospatiales puis de répondre aux requêtes temporelles. L'application a été construite en utilisant le langage java et intègre les résultats de l'algorithme de rétablissement de liens sémantiques, dont les résultats ont été présentés (Bakillah *et al*, 2006). Pour compléter l'approche géosémantique, nous avons intégré les fonctionnalités du module Oracle Spatial pour tenir compte de l'évolution géométrique des membres du schéma des instances de la dimension pour répondre adéquatement aux requêtes temporelles (figure 4).

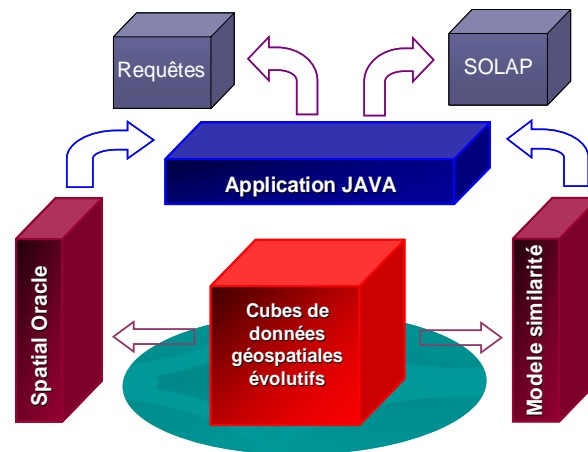


Figure 4 : Schéma de l'architecture de l'application

Les données proviennent des inventaires de la forêt Montmorency effectués à différentes époques (1973, 1984, 1992 et 2002), chaque inventaire étant associé à un cube de données géospatiales. Les inventaires consistent à partitionner l'espace en zones présentant des propriétés homogènes en termes de densité, d'essences, de hauteur, etc., produisant un ensemble d'entités spatiales de base appelées peuplement. Les peuplements, associés à des polygones représentant leur géométrie, sont agrégés en entités spatiales de niveau supérieur et variables selon les époques (compartiment, polygone écologique, station forestière, etc.), formant la dimension spatiale Découpage. Les peuplements possèdent les propriétés décrites dans le tableau 1, lesquelles ont été déterminées lors des inventaires (à l'exception de la propriété fonction) et constituent les autres dimensions des cubes.

Type de propriétés	Propriétés	Valeurs	Mesure
Attributs	Densité Hauteur Âge Perturbation	[61,81]% [7,12] m [20,40] ans Coupe partielle	Volume ligneux
Parties	Essences	Bouleaux blancs et sapins : Peuplement mélangé où les feuillus représentent de 50% à 74% de la surface terrière totale. Le bouleau blanc occupe plus de 50% de la surface terrière...	30.2 m3/HA
Fonction	Type de zone	Réserve écologique	

Tableau 1 : Exemple de propriétés et mesure d'un concept peuplement forestier

Afin d'illustrer quelques résultats de notre approche, nous avons procédé à une analyse comparative entre les résultats obtenus pour une série de requêtes temporelles en utilisant, dans un premier temps, uniquement les matrices de transformations sémantiques, et dans un deuxième temps, et pour les mêmes requêtes, les matrices de transformation géosémantiques, c'est-à-dire celles qui ont été obtenues à partir des matrices de correspondances sémantiques et géométriques. Les requêtes portent la moyenne du volume de ligneux pour l'essence sapin de $n=135$ peuplements entre 1984 et 1992. Cette procédure a également été effectuée en utilisant le modèle Matching Distance (MD) au lieu du modèle redéfini (MDR) pour constituer les matrices de correspondances sémantiques, afin de juger de l'impact de la redéfinition du modèle de similarité sémantique.

En confrontant les résultats des requêtes nous visons à montrer la nécessité de considérer non seulement l'évolution sémantique mais également l'évolution géométrique pour obtenir des résultats valides.

Le tableau 2 montre les résultats obtenus, soit la moyenne des résultats aux séries de requêtes pour le volume ligneux obtenu en considérant les liens sémantiques et les liens géosémantiques, pour chacun des modèles et l'écart moyen entre les résultats des deux modèles.

	Avec modèle MD	Avec modèle MDR	Écart moyen (m3/ha)
	Moyenne de la mesure du volume (m3/ha)	Moyenne de la mesure du volume (m3/ha)	
Requêtes avec liens sémantiques	109,5	241,8	132,4
Requêtes avec liens géosémantiques (sémantique +géométrie)	4,1	19,9	15,1

Tableau 2 : Résultats de l'analyse comparative pour l'approche géosémantique intégrant le modèle MD et le modèle redéfini

Le résultat du volume est considérablement plus faible avec le modèle MD, parce que ce dernier ne considère pas la similarité à un niveau suffisamment précis (c'est-à-dire entre les

propriétés des concepts) par rapport au modèle redéfini. Dans les deux cas, les résultats obtenus en considérant uniquement les liens sémantiques sont élevés par rapport au volume ligneux pour chaque peuplement, car la requête avec liens sémantiques seulement additionne une partie des volumes ligneux de tous les peuplements qui possèdent un degré de similarité non nul avec le peuplement de la requête. Par conséquent, dans le contexte forestier, il est nécessaire de tenir compte des liens géométriques entre les membres des dimensions spatiales pour obtenir des résultats plus près de la réalité. Ainsi, la moyenne du volume ligneux obtenu avec l'approche géosémantique est plus proche des données statistiques forestières recueillies à différentes époques. D'autres résultats intéressants seront présentés lors de travaux futurs, tels que le couplage du modèle sémantique avec un outil SOLAP (Spatial On-Line Analytical Processing) « un logiciel qui permet la navigation rapide et facile dans les bases de données spatiales et qui offre plusieurs niveaux de granularité d'information, plusieurs thèmes, plusieurs époques et plusieurs modes d'affichage synchronisés ou non : cartes, tableaux et diagrammes » (Bédard 2004).

5. Conclusion

Notre article présente une approche géosémantique intégrée de rétablissement des liens sémantiques et géométriques entre différentes versions du cube de données géospatiales, laquelle se distingue des solutions généralement apportées à la problématique de l'évolution de la structure multidimensionnelle par le fait qu'elle considère le cas où les relations entre les membres des différentes structures sont non identifiées et qu'elle intègre l'évolution sémantique et géométrique simultanément. Cette approche présente également les avantages suivants :

Le modèle proposé pour le niveau sémantique est flexible car il peut intégrer des concepts définis par plusieurs types de propriétés ; il permet d'améliorer la précision en évaluant la similarité non seulement au niveau des concepts, mais également entre les propriétés des concepts. Du côté géométrique, l'application de l'outil Oracle Spatial a l'avantage de réduire le temps de réponse des requêtes. Les résultats ont démontré l'efficacité de l'approche géosémantique et qu'elle peut s'appliquer dans d'autres domaines d'applications. Des résultats supplémentaires de l'approche géosémantique seront présentés dans leur intégralité lors des travaux futurs.

Bibliographie

Atef, B. (2001) « Qualité géométrique des entités géographiques surfaciques application à l'appariement et définition d'une typologie des écarts géométriques », thèse de doctorat, Université de Marne - La Vallée.

Bakillah, M ; Mostafavi, M.A ; Bedard, Y. (2006). «A Semantic Similarity Model for Mapping between evolving Geospatial Data Cubes », OTM Workshops 2006, LNCS 4278, pp.1658 – 1669.

Bédard, Y. (2004). «Amélioration des capacités décisionnelles des SIG par l'ajout d'un module SOLAP». Université de Provence, Centre de Mathématiques et Informatique, LSIS, Marseille, 8 avril.

Body, M.; Miquel, M.; Bédard, Y.; Tchounikine, A. (2002) «A Multidimensional and Multiversion Structure for OLAP Applications ». In Proceedings of the 5th ACM international workshop on Data Warehousing and OLAP.

Doan, A.; Madhavan, J.; Domingos, P.; Halevy, A. (2002) « Learning to map between ontologies on the Semantic Web ». In the 11th International WWW Conference, Hawaii, US.

Eder, J.; Koncilia, C.; Morzy, T. (2002) « The COMET Metamodel for Temporal Data Warehouses. » In Proc. of the 14th Int. Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAISE'02), Toronto, Canada.

Eder, J.; Koncilia, C. (2004) « Modelling Changes in Ontologies. » OTM Workshops 2004, LNCS, 3292, p 662-673.

Ehrig, M.; Sure, Y. (2004) « Ontology Mapping – An Integrated Approach. » Proceeding of the First European Semantic Web Symposium, ESWS 2004 Heraklion, Crete, Greece.

Fernandez, M.; Gomez-Perez, A.; Juristo, N. (1997). « Methontology: From Ontological Art Toward Ontological Engineering. » Paper presented at the Spring Symposium Series on Ontological Engineering, AAAI97, Stanford, USA.

Gruber, T.R.(1995) « Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. » International Journal of Human–Computer Studies, 43, pp. 907–928.

Sure, Y.; Staab, S.; et Studer, R. (2004). « On-To-Knowledge Methodology (OTKM). » In S. Staab et R. Studer (Eds.), Handbook on Ontologies (pp. 117-132): Springer Verlag.

Su, X.; Gulla, J.A.(2004) « Semantic Enrichment for Ontology Mapping. » F.Meziane, E. Metais (Eds.) : NLDB 2004, LNCS3136, pp. 217-228.

Euzenat, J.; Valtchev, P. (2004) « Similarity-Based Ontology Alignment in OWL-Lite. » In the 16th European Conference on Artificial Intelligence, Valencia, Spain.

Klein, M. (2001) « Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions. » In IJCAI-2001 Workshop on Ontologies and Information Sharing, p53-62, Seattle, WA.

Charlet, J.; Bachimont, B.; Troncy, R. (2003). « Ontologies pour le Web sémantique. » In J. Charlet, P. Laublet et C. Reynaud (Eds.), Web sémantique: Action spécifique 32 CNRS/STIC.

Mendelzon, A.O.; Vaisman, A.A. (2000) « Temporal Queries in OLAP ». Proceedings of the 26th VLDB Conference, Cairo, Egypt.

Morzy, T.; Wrembel, R. (2004) « On querying Versions of Multiversion Data Warehouse ». DOLAP'04, Washington, DC, USA.

Nascimento, M.; Silva, A. J.R.O.; Theodoridis, Y. (1999) « Evaluation for Access Structures for Discretely Moving Points ». In Proc. of the Int. Workshop on Spatio-Temporal Database Management, Edinburgh, UK, pp. 171-188. Springer-Verlag.

Nascimento, M. ; Silva, A.; J.R.O. (1998) « Toward Historical R-Tree. » In Proc. of the ACM Symp on Applied Computing, Atlanta, GA, pp. 235-240. ACM Press.

Rigaux, P.; Scholl, M.; Voisard, A; (2000) « Spatial Databases. » Morgan Kaufmann.

Rodriguez, M.A. (2000) « Assessing Semantic Similarity Among Entity Classes. » Thèse de doctorat, University of Maine.

Rivest, S.; Bédard, Y.; Proulx, M-J; Nadeau, M.; Hubert, F.; Pastor, J. (2005) « SOLAP Technology : Merging Business Intelligence with geospatial technology for interactive spatio-temporal exploration and analysis of data ». ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 60: 17-33.

Thurnheer, A. (2000) « Les changements dans les bases de données analytiques. » In : Information als Erfolgsfactor, Teubner, Stuttgart.

Tversky, A. (1977) « Features of Similarity. » Psychological Review 84(4): 327-352.

Theodoridis, Y.; Vazirgiannis, M.; Sellis, T. (1996) « Spatio-temporal Indexing for Large Multimedia Applications. » In Proc. of the 3rd IEEE Conf. on Multimedia Computing and Systems, pp. 441-448.