

## La multireprésentation dans les SIG

---

La multireprésentation des données dans les SIG est un vaste domaine et englobe plusieurs significations. Nous allons présenter celles qui nous semblent les plus pertinentes dans notre étude. De manière générale, la multireprésentation désigne la multitude des aspects sous lesquels la réalité géographique peut intéresser les personnes à un instant donné. Une même portion de territoire est perçue de façons très différentes par des gestionnaires de patrimoines immobiliers, des économistes, des agriculteurs, ou encore des touristes planifiant leurs vacances. La quantité et la nature de l'information, la précision et le mode de représentation cartographique varient selon le profil (Moisuc et al., 2004). Par exemple, la représentation d'un site urbain peut demander beaucoup de détail pour un architecte créant un nouveau projet (forme et emplacement exact, utilisation, nature du terrain...) et une description plus sommaire pour une personne travaillant dans le domaine des risques hydrologiques (inondabilité, vulnérabilité).

On peut distinguer deux approches dans le phénomène de la multireprésentation : les sources et les applications. Les principales sources de représentations multiples dans les SIG sont la prise en compte d'échelles multiples, la prise en compte de différents points de vue et la prise en compte de temps (Moisuc et al., 2004). Parmi les types d'applications multireprésentations (Devogele, 1997) en a cités sept que nous pouvons compléter avec des applications apparues ces dernières années comme la 3D et les ontologies (Mao, 2011) (Culot et al., 2003):

- les trois premiers types répondent aux besoins des utilisateurs : cartographie électronique, analyse, navigation, 3D et ontologies
- les quatre suivants sont plus spécifiques aux producteurs de bases de données géographiques : contrôle de cohérence, dérivation de bases de données ayant une représentation hétérogène, propagation des mises à jour et serveur de données multireprésentation.

Nous allons étudier plus en détail ces différentes approches.

### 5.1 La multireprésentation en cartographie

---

La gestion des représentations en cartographie est essentiellement liée à trois types d'information : la gestion de la résolution, la gestion des thèmes et les informations de mise à jour. Pour pouvoir générer des cartes de différentes échelles, il est nécessaire de stocker des données correspondant à plusieurs résolutions : une résolution par intervalle d'échelle à représenter, et ceci pour chaque territoire étudié lorsque cela est nécessaire. Dans le cas des cartes papier, cela revient à stocker posséder plusieurs cartes d'une même zone avec des représentations différentes et faire soi-même le rapprochement entre ces cartes. L'idéal serait d'être

capable de stocker uniquement les données correspondant au niveau de détail le plus fin, et d’en déduire, par généralisation, les données moins détaillées au moment de la requête. Cependant, le processus de généralisation cartographique (obtention des cartes à des échelles plus petites à partir des cartes à des échelles plus grandes) n’est pas entièrement automatisable et de plus, dans les cas où cela s’avère possible, il s’agit d’un processus très coûteux en temps de calcul (Davis et Laender, 1999). La solution largement utilisée aujourd’hui consiste à stocker explicitement plusieurs résolutions de données pour une même zone. Cela peut se faire de deux manières : en réalisant une base de données par résolution ou en utilisant une seule base stockant plusieurs résolutions. La Figure 39 montre un exemple de différentes représentations d’une même zone selon différentes échelles (généralisation cartographique). Les données proviennent du Géoportail et les échelles ne sont pas forcément habituelles comparées aux versions des cartes papier que l’on a l’habitude de manipuler. Ainsi, plusieurs représentations des mêmes données à des échelles différentes et selon différents thèmes et à différentes époques doivent pouvoir être gérées. Les critères de sélection cartographique pour afficher les informations cohérentes sont, d’après (Devogele, 1997) :

- Les circonstances d’utilisation
- La densité d’information
- La catégorie de l’usager
- L’intérêt
- La date
- La distance entre les objets.

Ces critères sont décrits dans notre architecture de modélisation d’environnement urbain sous la forme de contexte d’utilisation, explicitement (circonstance, date) ou implicitement (densité, distance).

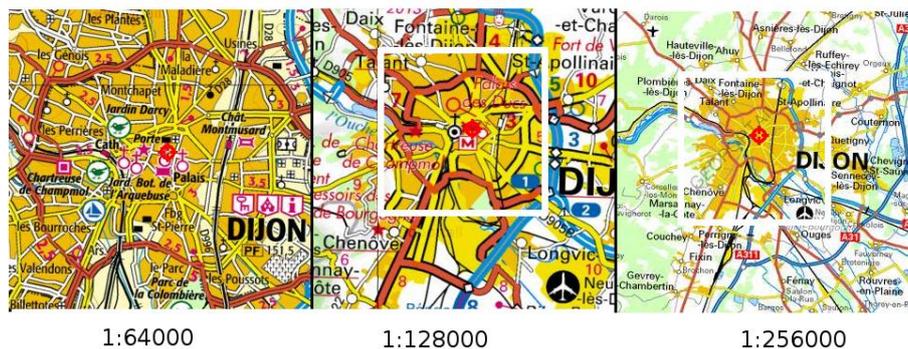


Figure 39. Exemple de généralisation cartographique (données issues du Géoportail)

Une majorité de SIG stockent l’information par résolution. Un des problèmes rencontrés pour notre étude est qu’en passant d’une résolution à l’autre, il n’y a aucune liaison entre l’identité des objets représentés (manque de sémantique). Cela pose certains problèmes pour les utilisateurs finaux (une analyse combinant plusieurs résolutions devient très difficile), mais aussi pour les concepteurs, en termes de propagation des mises à jour et de maintien de la cohérence de données. Si l’on prend en exemple une parcelle stockée dans plusieurs bases de données sur laquelle on souhaite construire un ouvrage, ce changement doit être introduit dans chaque base de données. De plus, le mécanisme de vérification de la propagation des modifications et de vérifications de leur cohérence est complexe à mettre en place.

Une autre solution, plus efficace et plus expressive, consiste à stocker une seule instance dans la base de données pour chaque objet du monde réel. Un SIG fondé sur une telle approche permet un plus de flexibilité et d’efficacité, mais il doit s’appuyer sur une structure de données capable de résoudre plusieurs problèmes (Moisuc et al., 2004) :

- La gestion de géométries multiples

- la gestion de plusieurs niveaux d'abstraction et de la visibilité des objets ;
- la gestion de multiples niveaux d'abstraction dans la partie attributaire des objets ;
- l'introduction du temps dans les SGBD a pour but de représenter la réalité en différents points de l'axe temporel ;
- la gestion de points de vue multiples.

## 5.2 La multireprésentation dans les ontologies

---

Nous commencerons par présenter dans ce paragraphe ce qui définit une ontologie, et notamment le concept d'ontologie géographique, un cas particulier des ontologies dynamiques. Puis nous présenterons un peu plus en détail le modèle MADS, une approche qui a été utilisée pour la multireprésentation sémantique. Enfin, nous essaierons de mettre en avant les concepts que nous pouvons réutiliser pour la construction d'une ontologie dynamique appliquée à la description d'un UIM.

### 5.2.1 Ontologie géographique / évolutive

---

Il existe de fait différents types d'ontologies dont nous pouvons trouver une rapide description dans l'article (Cullot et al., 2003). Cet article traite plus particulièrement des ontologies dans le domaine géographique. Il y est notamment expliqué que le terme d'ontologie peut désigner, entre autres et de façon *concrète*, une liste de termes reliés entre eux par des liens sémantiques tels que synonymie, hyponymie ou hyperonymie, ce qui définit un « thésaurus » (ontologie de haut niveau). Mais il peut également désigner une structure plus complexe s'apparentant à un schéma *conceptuel* de base de données, que l'on appelle « ontologie descriptive ». C'est avec ce type d'ontologie que l'on peut construire des ontologies de domaines ou de tâches en utilisant des concepts et des relations sémantiquement riches, ceux-ci pouvant être représentés dans des langages à base de logiques de description (Wache et al., 2001).

Il reste maintenant à définir la manière de conceptualiser les informations qui, au sein de l'ontologie, évoluent en fonction du temps et de l'espace. Ces informations ne sont pas naturelles à modéliser (par exemple il n'existe pas à l'origine de facilité pour modéliser des informations spatiales en Logique de Description (LD)) malgré le besoin qui s'en fait ressentir, notamment dans les domaines des systèmes d'information géographique. Nous allons nous baser pour ce faire sur une ontologie d'application, dite géographique, où la notion d'espace est la plus naturelle. Commençons par définir les besoins inhérents en termes de conceptualisation des ontologies géographiques. Leur nature d'ontologie d'application en font des structures composées qui recouvrent des ontologies de domaines et d'activités géographiques, basés sur un haut niveau qui permet de décrire spécifiquement des concepts qui caractérisent l'espace (comme le point, la ligne...) et où ceux-ci sont spatialisés, c'est-à-dire localisé dans l'espace et souvent le temps. Les besoins pour de telles ontologies sont, d'après (Cullot et al., 2003) :

- de pouvoir définir la spatialité à l'aide de types de données spatiales variées (ligne, point, surface simple...), de types d'objets spatiaux (i.e. d'objets ayant des attributs spatiaux), de relations spatiales comme les relations topologiques et/ou des champs continus (raster).
- définir intentionnellement des concepts spatiaux à l'aide d'axiomes contenant des prédicats spatiaux,
- raisonner sur la spatialité des instances, i.e. inférer à partir des relations spatiales décrites l'ensemble des relations spatiales valides.

Le prochain paragraphe présente une approche qui permet de résoudre la problématique de la conceptualisation de la spatialité dans des ontologies comme celle décrite ci-dessus ; il s'agit de MADS, un

modèle conceptuel relationnel qui donne les bases de la multireprésentation sémantique évoquée dans nos objectifs.

### 5.2.2 MADS et ses applications aux ontologies géographiques

---

Le modèle de données MADS (Spaccapietra et al., 2002) vise à définir une approche pour manipuler des bases de données géographiques dans lesquelles une même information peut avoir plusieurs représentations en fonction du temps et de l’espace.

L’élaboration du modèle conceptuel MADS a été guidée par les objectifs suivants, détaillés dans (Parent et al., 1998) :

- l’orthogonalité des dimensions structurelle, spatiale et temporelle (c’est-à-dire que le choix d’un mode de représentation pour l’une des dimensions n’influence pas les autres)
- la possibilité de décrire des relations topologiques ou temporelles entre les entités de manière explicite,
- une définition formelle des concepts tels l’agrégation spatiale ou temporelle, la généralisation/spécialisation et les mécanismes d’héritage associés,
- la possibilité de décrire des champs spatiaux continus,
- la provision de types spatiaux génériques au-delà des types de base, des notations visuelles intuitives.

MADS est un modèle conceptuel relationnel (entité - association) étendu aux concepts principaux de l’approche orientée objet (structures complexes, héritage et méthodes). Il propose un ensemble de quatre composantes pour résoudre ces différentes problématiques (structurelle, spatiale, temporelle et multireprésentation). Nous allons voir comment l’on peut intégrer ce mécanisme de représentation au sein d’une ontologie.

L’extension de MADS décrite dans (Vangenot, 2004) permet à un phénomène d’avoir plusieurs représentations au sein d’une même base de données. La notion de multireprésentation est apparue dans le domaine des Systèmes d’Information Géographique, dans le but de gérer plusieurs représentations différentes des mêmes objets géographiques selon différents points de vue ou selon différents niveaux de résolution. Dans le domaine de la modélisation d’information, le problème de la multireprésentation est connu depuis longtemps au travers de l’utilisation des vues dans les bases de données pour personnaliser l’accès d’un groupe d’utilisateurs. On peut supposer qu’une des origines de la représentation multiple vient du caractère subjectif de la modélisation des bases de données. Mais l’information peut également être une entité sujette à différentes représentations selon le contexte dans lequel elle est considérée.

Dans MADS, les représentations multiples sont utilisées dans deux cas d’utilisation : le point de vue et le contexte multirésolution. Un point de vue matérialise un intérêt spécifique dans la gestion des données et détermine une représentation de ces données lui correspondant. Il permet de sélectionner un sous-ensemble de la base avec des éléments intéressants pour un groupe d’utilisateurs en se basant sur les types d’objets ou d’associations et leurs propriétés. La résolution, quant à elle, permet d’ajuster de façon dynamique l’accès aux données afin de sélectionner les représentations appropriées à un certain niveau de détail. Les facettes de multireprésentation, le point de vue et la résolution sont introduits dans le modèle de données sous la forme d’estampilles de représentation. Pour gérer ces deux mode de sélection, on peut définir des estampilles <point de vue, résolution> pour les différents éléments, où le domaine de valeur pour le point de vue est discret, énuméré et non ordonné et celui de la résolution est continu, linéaire et ordonné (de façon similaire au temps).

MADS propose deux approches pour décrire les représentations multiples, chaque représentation étant identifiée par le mécanisme des estampilles. On peut donc soit regrouper toutes les représentations dans une structure unique (approche par intégration de représentation), soit effectuer une mise en correspondance des représentations à l'aide d'associations dites de correspondance (les liens traditionnels de multi-instanciation, les liens is-a et may-be, l'association d'agrégation, qui traduit la décomposition d'un objet en ses composants, l'association d'identité, qui lie des objets de même identité, et l'association SetToSet, qui relie deux ensembles d'objets décrivant collectivement le même objet du monde réel).

L'adaptation des principes de MADS aux ontologies géographiques a donné lieu à plusieurs travaux de recherche (Cullot et al., 2002), (Sotnykova et al., 2005) et (Benslimane et al., 2003). Ceux-ci visent essentiellement à recréer la technique d'estampillage des données pour représenter les différents contextes. Le contexte est utilisé pour définir des profils utilisateurs dans l'ontologie et permettre la sélection d'une sous-ontologie (i.e. un sous ensemble de l'ontologie).

Dans un premier temps, le principe consiste à définir, pour un concept, un ou plusieurs contextes, ou chaque représentation d'un concept est estampillée. Le Script 9 nous donne un exemple de définition d'un concept avec deux contextes. Ainsi, pour définir un concept, on donne en paramètre l'ensemble des estampilles, puis pour la définition des attributs, on indique une liste d'estampilles auxquelles ils se rapportent.

```
s1, s2 sont des estampilles qui correspondent respectivement aux contextes
Road trafic et Driving school
```

```
Type Vehicle (s1, s2)
s1 : Speed (1,1) : number,
s1 : VehicleType (1,1) : string,
s1, s2 : LicencePlate (1,1) : string,
s1, s2 : AssurancePolicy (1,1) : string,
s1: RegistrationDate (1,1) : date,
s2 : RegistrationDate (1,1) : string,
s1: Driver (1,1) : string,
s2 : CarModel (1,1) : string
```

**Script 9.** Exemple de définition d'un concept estampillé, d'après (Benslimane et al., 2003)

Ensuite, pour définir la multireprésentation des concepts complexes (dérivés de concepts atomiques par l'application de constructeurs des logiques de descriptions), il a été fait le choix d'étendre la grammaire des LD classiques (i.e. exprimé avec le langage de description *ALCN*, défini dans (Baader et al. 2003)) avec des constructeurs contextuels. Ils ont été définis dans le script suivant (Script 10) :

```
On considère s1,...,sm un ensemble d'estampilles, R un rôle et C et D des
concepts complexes contextuels que l'on peut créer au moyen de la syntaxe
suivante :
```

```
C, D → ∃ s1,...,sm R.C (quantification existentielle contextuelle)
| ∀ s1,...,sm R.C (restriction de valeur contextuelle)
| (≤ s1,...,sm nR) (cardinalité maximale d'un rôle contextuel)
| (≥ s1,...,sm nR) (cardinalité minimale d'un rôle contextuel)
| C ∩ s1,...,sm D (conjonction contextuelle)
```

**Script 10.** Extension de la grammaire des Logiques de Description pour la multireprésentation sémantique

Une partie des travaux cités plus tôt est plus orientée sur la définition de la temporalité et de la spatialité et vise à étendre les logiques de descriptions. Pour se faire, il a été proposé de séparer les ensembles d'objets définis en deux groupes : celui des objets abstraits, et celui des objets concrets (comme les nombres, chaînes,

les spatiaux ou les temporels). Les objets abstraits peuvent être liés à d’autres objets abstraits par des rôles abstraits ou à des objets concrets par des rôles concrets. Le but est donc de définir des rôles concrets particuliers entre les objets pour définir la spatio-temporalité. En appliquant ses rôles à un domaine, il est possible de décrire les relations topologiques et de synchronisation entre les objets (rôles *hasArea* et *hasDuration*). Le domaine concret T pour l’aspect temporel est basé sur les intervalles de temps et sur les relations de Allen (Allen, 1983) (*précède, succède, égale, rencontre, chevauche, pendant, commence et finit*), le domaine concret spatial S est lui défini pour les polygones par l’utilisation de prédicats de base lié à la topologie (*Disjonction, adjacence, recouvrement, inclusion stricte et tangentielle, égalité*), présentés dans la Figure 40.

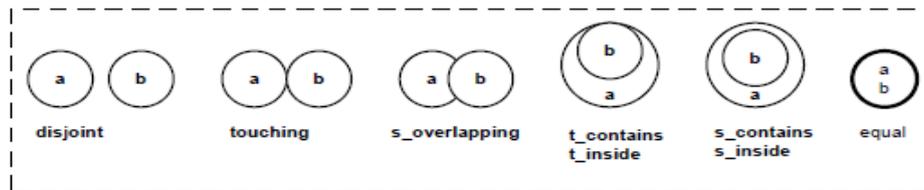


Figure 40. Relations topologiques

Pour illustrer la définition d’objets spatio-temporels nous pouvons reprendre un exemple tiré de (Sotnykova et al. 2005) qui vise à définir la notion de Musée comme un ensemble de monuments. Pour cela, on décrit le fait qu’un Musée est spatialement connecté à des monuments, et que les horaires d’ouverture se chevauchent. On définit alors un premier prédicat spatial, *connected*, comme la disjonction des différents prédicats spatiaux de base, un rôle, *spatial\_connected*, basé sur le prédicat que l’on vient de définir, et un rôle temporel, *duration\_overlaps*, comme dans le Script 11.

```
connected ≡ touching v s_overlapping v t_contains v t_inside v s_contains v
s_inside v equal ;
spatial_connected ≡ ∃(hasArea) (hasArea).connected ;
duration_overlaps ≡ ∃(hasDuration) (hasDuration).overlaps ;
MuseumMonument ⊆ Museum Π
    ∃spatial_connected.Monument Π
    ∃duration_overlaps.Monument ;
```

Script 11. Exemple de relations topologiques

### 5.2.3 La multireprésentation en 3D

Pour conclure la partie de l’état de l’art sur la multireprésentation dans les SIG, nous allons étudier les mécanismes existant dans le domaine de la 3D. Nous avons déjà abordé certains mécanismes sans les citer explicitement lorsque nous avons parlé des niveaux de détails. Ainsi, nous avons défini à la fois des mécanismes de représentation multiple par simplification des géométries en fonction de la distance (LoD de CityGML), et à la fois sur le regroupement d’entités avec les H-LoD.

Si CityGML semble être une approche complète pour modéliser l’environnement urbain d’un point de vue géométrique, topologique et sémantique, il n’est pas fait pour l’affichage des données comme le souligne (Kolbe, 2009) : « CityGML est complémentaire avec les normes de visualisation comme X3D ou KML. Alors que ces modèles sont axés sur la présentation, le comportement et l’interaction des modèles 3D, CityGML s’occupe principalement de l’échange d’informations en milieu urbain à l’aide d’objets 3D ».

Certains travaux comme (Mao, 2011) viennent pallier ce manque en proposant des mécanismes de multi-représentation 3D permettant de créer des arbres d'objets urbains (CityTree) afin d'adapter des mécanismes de généralisation classique vues plus tôt (le regroupement d'objets par exemple). Il est ainsi possible de calculer des représentations pour des nœuds de l'arbre qui sont sélectionnés en fonction du point de vue de la caméra. Dans l'arbre, les objets sont regroupés par bloc géographiquement proche, par exemple un ensemble de bâtiments séparés par une route. Cette méthode, purement géométrique, permet d'optimiser le rendu d'un fichier CityGML et d'obtenir des résultats satisfaisants lors du rendu de larges scènes.

Enfin, le dernier mécanisme de multireprésentation que nous allons présenter est un classique des logiciels de CAO 3D : l'association de représentations 2D et 3D aux entités (Cruz et Nicolle, 2006)(Nebiker, 2002). Ainsi, dans Active3D par exemple, chaque objet est représenté par sa boîte englobante 3D, une représentation 2D et sa représentation réelle 3D. Certains systèmes comme DILAS (Nebiker, 2002) calculent les deux premières représentations depuis le modèle complet en 3D, et ne représente que le contour des objets en 2D, d'autres, comme dans les IFC, peuvent associer une représentation 2D complète et indépendante de la 3D. Les deux premières représentations (boîte englobante et empreinte 2D) sont utilisées essentiellement pour accélérer les requêtes géométriques.

## 6 Conclusion

Le projet SIGA3D qui s'inscrit dans la continuité du projet Active3D a pour but de compléter l'architecture de modélisation des bâtiments existante au sein de la plateforme Active3D afin de pouvoir effectuer une modélisation d'objets urbains. Ces objets urbains sont des éléments extérieurs au bâtiment tels que les réseaux physiques (route, réseau gaz, téléphone...) et leurs composants (valve, tuyaux, coude...). L'un des objectifs de cette extension est le respect des normes que nous utilisons telles les IFC pour le bâtiment. Pour la modélisation extérieure du bâtiment, d'autres normes issues notamment de l'Open Geospatial Consortium apparaissent actuellement et sont en constante évolution. Pour reprendre les propositions de schéma de (Ferries et Légise, 2006) présentés au tout début de ce chapitre, nous pouvons dans le même esprit proposer une architecture faiblement couplée (Figure 41). Cette architecture permettra à un méta-niveau de représenter les meilleures propriétés de chacun des domaines pour construire une plateforme de gestion technique de patrimoine urbain cohérente.

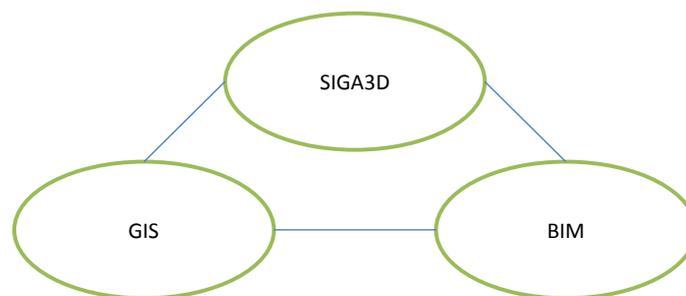


Figure 41. Couplage GIS et BIM avec SIGA3D

L’ensemble des objectifs du projet SIGA3D présenté en introduction de cette thèse (Figure 1) peuvent être regroupés par catégories : la *géométrie*, la *sémantique*, la *spatialité* et la *temporalité*, les *connexions*, et enfin la *topologie*, à la fois spatiale et temporelle.

Le Tableau 3 présente une synthèse des besoins auxquels répondent les différents systèmes de représentation de connaissances. Les lignes correspondent aux domaines sur lesquels nous devons agir, et les colonnes rappellent les différentes familles de systèmes de modélisation. Pour chaque caractéristique et système de modélisation, trois valeurs sont possibles. Un cercle rouge signifie que le système de modélisation ne répond pas à une caractéristique, ou du moins de manière trop basique pour l’objectif visé. Un cercle vert informe que le système répond de manière exhaustive à la caractéristique. Un cercle orange indique que le système ne répond pas directement aux besoins, mais propose un cadre qui permettrait d’y répondre. Le tableau est inspiré à la fois des travaux de (Vanlande, 2007) et de (Kolbe, 2009).

	<i>Intelligence Artificielle</i>	<i>3D</i>		<i>Génie logiciel</i>	<i>Web</i>	<i>SIG</i>				<i>BIM</i>	
	Logiques de description	X3D	Collada	MADS	RDF/OWL	Modèles 3D géométriques	Modèles topologiques	KML	CityGML	IFC	C-DMF
<i>Sémantique</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Géométrie</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Spatialité</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Temporalité</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Connexions</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Topologie</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Tableau 3. Synthèse des approches par catégories

La première remarque qui s’impose est qu’aucun des formalismes étudiés ne propose une réponse globale à l’ensemble des besoins du projet. Il apparaît alors que la solution finale sera basée en partie sur un assemblage de certains d’entre eux. Les logiques de description, les graphes conceptuels de Sowa basés sur une structure de réseau sémantique et sur la logique de premier ordre, permettent de réaliser des inférences au niveau terminologique et assertionnel. Ces modèles combinent la syntaxe pour décrire les données et les processus permettant de réaliser des inférences. Il est possible de définir des modèles de données par la description de classes et de propriétés. Ces formalismes sont utilisés dans le domaine de l’intelligence artificielle, par exemple dans le traitement des langues automatiques.

X3D est un standard libre de format de fichier et d’architecture d’exécution pour représenter et échanger des scènes et des objets 3D avec XML (ISO/IEC 19775-1:2008). C’est une norme ISO qui fournit un mécanisme pour le stockage, la récupération et la lecture en temps réel de contenus graphiques intégrés dans des applications, le tout dans une architecture ouverte afin de supporter un large éventail de scénarii de domaines et d’utilisateurs.

COLLADA a pour but d’établir un format de fichier d’échange pour les applications 3D interactives. Il définit un standard de schéma XML ouvert pour échanger les acquisitions numériques entre différents types d’applications logicielles graphiques qui pourraient autrement conserver leur acquisition dans des formats

incompatibles. Les documents COLLADA, qui décrivent des acquisitions numériques, sont habituellement identifiés par leur extension .dae («digital asset exchange», traduit par «échange numérique d'acquisition»<sup>73</sup>). Le domaine du génie logiciel offre de nombreux outils informatiques éprouvés et des solutions pour la conception d'applications industrielles. Le génie logiciel va au-delà de nos préoccupations et s'attache entre autres, à développer des méthodes pour concevoir et gérer les applications durant leur cycle de vie. Ces formalismes proposent une partie pour décrire de l'information, mais également pour la traiter. Nous nous intéressons ici seulement à la partie modélisation. L'approche relationnelle se propose de décrire les connaissances avec des entités et des relations entre ces entités. Elle est très utilisée pour concevoir les modèles conceptuels de bases de données relationnelles. MADS est à l'origine une extension de ces systèmes qui supporte les dimensions spatiales, temporelles et topologiques dans le but de gérer la multireprésentation des données.

Dans le domaine des SIG, et plus particulièrement dans les approches de SIG 3D, nous avons retenu deux modèles principaux pour la modélisation des données : le modèle topologique que nous avons décrits plus tôt, et les modèles géométriques tels que l'on peut les retrouver dans (De La Losa, 2000) ou (Ramos, 2003). Ensuite, KML est un format en XML créée par Google, pour la visualisation dans Google Earth et peut-être généré dans Sketchup<sup>74</sup>. Il utilise le format COLLADA. Il est de plus en plus pris en compte par les SIG (MapGuide, ArcGIS, MapInfo...). Quant à CityGML dont nous avons plusieurs fois parlé, il est souvent associé à des outils de représentations 3D comme COLLADA (Kolbe, 2009) du à ses faiblesses en modélisation géométrique. Le nombre de travaux sur ce sujet que nous avons évoqué précédemment montre l'engouement pour ce système de modélisation et l'on peut voir effectivement qu'il est, pour notre objectif, celui qui apporte le plus de réponses. Cependant, même si les possibilités offertes en termes de modélisation sémantique sont importantes, il reste aujourd'hui beaucoup de travail à réaliser pour pouvoir prendre en compte une expressivité ontologique équivalente aux IFC pour la modélisation des bâtiments. De plus, la technologie est encore très peu utilisée en milieu professionnel et le manque d'outils spécialisés basés sur ce formalisme sont aujourd'hui un frein à son adoption, du moins dans le cadre d'une architecture basée uniquement sur celui-ci.

Enfin, dans le domaine du BIM, nous ne pouvons pas passer à côté du système de modélisation C-DMF qui est à la base de la plateforme industrielle Active3D actuelle. Si ce système convient parfaitement à la modélisation des bâtiments, il trouve en revanche très vite ses limites dans la gestion d'objets urbains. Ainsi, les notions de géoréférencement, de gestion du temps et de relations topologiques sont très peu présentes (elles ne peuvent être décrites que sous forme d'étiquette dans la couche de gestion du contexte et ne possèdent aucun système de traitement dédié).

Avec ces différents éléments en notre possession, nous avons choisi une approche permettant de coupler les avantages de ces différents formalismes de modélisation au sein d'une même structure. De plus, la contrainte industrielle étant forte sur ce projet, nous avons décidé d'adapter le modèle existant pour le sortir de sa spécialisation sur les bâtiments et élargir son champ d'action à l'information géographique. Nous allons donc faire évoluer C-DMF pour en faire une architecture d'intégration sémantique. Nous entendons par là que l'architecture SIGA3D aura pour objectif de stocker l'information dans des ontologies dynamiques et évolutives, peuplées à partir non seulement de la plateforme Active3D et des outils dédiés au Facility Management, mais également à partir des autres formalismes décrits dans ce document, que l'information traitée soit liée aux bâtiments, aux objets urbains ou même à la cartographie.

---

<sup>73</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Collaborative\\_Design\\_Activity](http://fr.wikipedia.org/wiki/Collaborative_Design_Activity)

<sup>74</sup> <http://sketchup.google.com/intl/fr/>

# Chapitre 4

## Extension d'Active3D à la modélisation Urbaine

### Résumé

---

L'objectif de ce chapitre est d'apporter une proposition formalisée au problème de la modélisation sémantique, graphique et géographique d'informations du bâtiment et d'objets urbains dans un contexte de gestion technique de ces informations. Cette problématique vise à élargir la portée des outils et techniques de modélisation connus dans le monde du BIM et des SIG. L'idée est de pouvoir traiter de manière uniformisée les capacités de modélisation, géométriques et sémantiques, de l'univers du bâtiment et les notions typiquement issues des SIG (environnement urbain et terrains).

Par extension des travaux de Renaud Vanlande, l'approche de SIGA3D vise à construire, d'un côté, un graphe de scène contenant les informations relatives aux géométries des objets, avec notamment la possibilité d'associer plusieurs représentations géométriques à ces objets, puis d'un autre côté, un graphe sémantique à l'aide d'une extension du framework C-DMF. Ce graphe permet d'associer, dans une ontologie, plusieurs représentations sémantiques à un seul concept. En couplant ces deux approches, nous pouvons créer des niveaux de détail basés sur le contexte de visualisation des objets. L'objectif de ces niveaux de détail contextuels est d'optimiser le rendu géométrique des scènes en créant des niveaux de détail propres à chaque utilisation qui est faite des données. De sorte, la simplification des scènes est personnalisée et ne dépend plus des seuls critères géométriques, mais également de critères sémantiques.

### Plan

---

1	Modélisation des données et Géométrie .....	112
2	Modélisation des données et multireprésentation sémantique.....	114
2.1	Pre-requis .....	115
2.2	Les classes et propriétés .....	116
2.2.1	Déclaration contextuelle de classes .....	116
2.2.2	Déclaration contextuelle de propriétés .....	117
2.2.3	Les prédicats.....	118
2.2.4	Les opérateurs.....	120
3	La couche de gestion du contexte.....	129
3.1.1	Le systemGraph.....	129
3.1.2	La validité du et dans le modèle.....	132
4	Conclusion .....	135



Pour répondre aux contraintes présentées dans le chapitre précédent, ce chapitre propose une solution formalisée pour la résolution du problème de la modélisation sémantique, graphique et géographique d'informations du bâtiment et d'objets urbains dans un contexte de gestion technique de ces informations. Cette problématique qui vise à élargir la portée des outils et techniques de modélisation connus dans le monde du BIM et des SIG est illustrée par la Figure 42. L'idée dans cette illustration est de pouvoir traiter de manière uniformisée les capacités de modélisation, géométriques et sémantiques, de l'univers du bâtiment et les notions typiquement issues des SIG (environnement urbain et terrains). Si chacune des disciplines maîtrise parfaitement son environnement (la modélisation 3D et sémantique de bâtiments pour le BIM, la gestion des coordonnées, des niveaux de détail et d'un volume important de données pour le SIG), la convergence vers un écosystème unique reste aujourd'hui un défi. Cela est dû en particulier aux problèmes d'hétérogénéité que l'on peut rencontrer à plusieurs niveaux (syntaxique, schématique et sémantique) comme expliqués dans l'état de l'art.

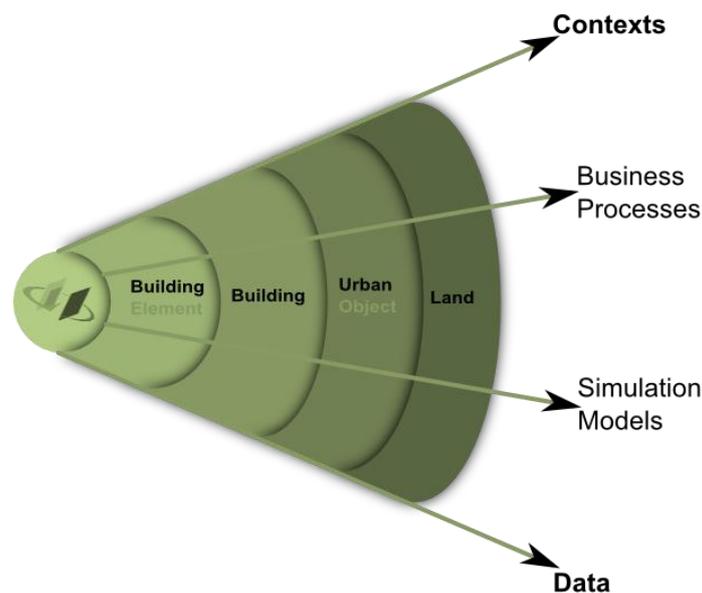


Figure 42. Convergence des méthodes BIM et SIG pour l'ouverture de la modélisation sémantique

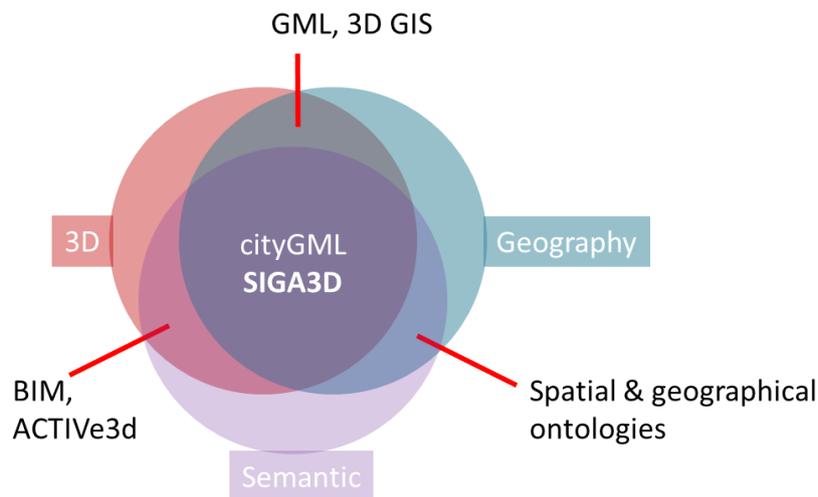
Le couplage des trois domaines principaux traités au sein des BIM et des SIG (sémantique, 3D et géographique) nous permet d'introduire un nouveau concept d'optimisation de l'information que nous avons appelé niveaux de détail contextuels (C-LoD pour Contextual Level of Detail). Comme le montre l'état de l'art, dans chacun de ces domaines il existe traditionnellement des mécanismes spécifiques de traitement de l'information par niveau de détail : les LoD en 3D simplifient la géométrie des objets en fonction de leur distance à la caméra, la résolution dans les SIG consiste à définir des représentations correspondant à une appréciation de la densité spatiale des données, et la multireprésentation sémantique permet de structurer l'information selon des critères sémantiques (contexte d'utilisation ou contextes extérieurs comme le jour/nuit, saison...) et ainsi « filtrer » l'information utile.

L'idée de l'architecture SIGA3D est de combiner ces trois mécanismes de simplification des données afin de créer une représentation unifiée. Il existe déjà des travaux combinant différentes techniques citées ci-dessus pour optimiser l'approche d'un domaine en particulier :

- le couplage des niveaux de détail 3D avec ceux des SIG dans GML ou les SIG 3D en général (Köninger et Bartel, 1998),
- les ontologies spatiales ou géographiques (Spaccapietra et al., 2004) qui mixent la multireprésentation sémantique avec les concepts de niveaux détail géographique,

- la combinaison de la sémantique avec des représentations 3D comme dans le BIM (Active3D permet par exemple, en utilisant les IFC, de filtrer des éléments dans une scène 3D en fonction de leurs propriétés), la modélisation de bâtiment dans un sens plus général encore, comme dans les travaux de (Hu, 2008), voire même dans le sens le plus global de modélisation 3D (Spagnuolo et Falcidieno, 2009).

Ces différentes approches et leur positionnement par rapport aux domaines étudiés sont illustrés dans la Figure 43.



**Figure 43.** Positionnement des niveaux de détail contextuels de SIGA3D par rapport aux domaines de la 3D, de l'information géographique et de la gestion des connaissances

Pour concevoir une solution qui réponde à ces différents objectifs, nous avons étendu le BIM Active3D défini par Renaud Vanlande afin d'intégrer les contraintes des Systèmes d'Information Géographique et plus spécifiquement les notions de géolocalisation, de temporalité et de montée en charge. En effet, comme le nombre de données à représenter dans la scène 3D devient très volumineux (un environnement modélisé en 3D avec des objets urbains et des bâtiments IFC représentant plusieurs millions d'objets 3D), nous avons dû développer une nouvelle solution de gestion des niveaux de détail. Nous avons introduit dans notre approche une gestion de détail basé aussi sur la sémantique des objets et leur relation de pertinence avec le contexte de l'utilisateur.

L'objectif des niveaux de détail contextuels est donc d'optimiser le rendu géométrique des scènes en créant des niveaux de détail propres à chaque utilisation qui est faite des données. De sorte, la simplification des scènes est personnalisée et ne dépend plus des seuls critères géométriques, mais également de critères sémantiques. Pour ce faire, nous construisons dans un premier temps un graphe de scène contenant les informations relatives aux géométries des objets. Cette modélisation est particulière puisqu'elle donne la possibilité d'associer plusieurs représentations géométriques à ces objets. Si le mécanisme est similaire à ceux utilisés pour la gestion des LoD géométriques traditionnels, des adaptations sont néanmoins nécessaires pour pouvoir sélectionner les représentations en fonction de critères sémantiques. Dans un second temps, nous construisons un graphe sémantique à l'aide de l'architecture SIGA3D, ce qui nous permet d'associer dans une ontologie plusieurs représentations sémantiques à un seul concept. En couplant ces deux approches, nous pouvons créer nos niveaux de détail sémantiques.

Ce chapitre présente les outils que nous avons mis en place afin de construire les niveaux de détail contextuels. Cela commence par l'architecture supportant la définition de nos concepts et le moyen de leur définir plusieurs représentations. Nous parlons à ce niveau de contextes locaux (le contexte porte sur la définition du concept). Cette notion vient en complément des contextes de modèles et d'utilisation qui sont décrits dans la partie suivante (où le contexte porte sur un ensemble de contexte définissant un modèle, dans son ensemble). Enfin,

nous verrons plus en détail la construction du lien entre les représentations sémantiques et les éléments géométriques de notre graphe de scène.

La formalisation qui est faite ici est axée principalement sur la gestion du modèle de données et de la gestion du contexte que nous pouvons voir sur la Figure 42. Ces deux couches composent une architecture plus globale dont la définition complète est présentée dans le chapitre suivant. Cette architecture globale contient six couches réalisant le processus de traitement depuis l’acquisition des données issues de différentes sources, propres au BIM ou aux SIG, jusqu’à l’exploitation de celles-ci par l’utilisateur, sous forme de scènes 3D ou bien d’arbres alphanumériques (affichant l’information purement sémantique). Chacune de ces techniques de visualisation du patrimoine modélisé contient des informations sémantiques, géométriques et géographiques, et ce sous forme contextuelle (pouvant dépendre à la fois de l’environnement de l’utilisateur, mais aussi de l’information intrinsèque aux données).

L’architecture qui permet de modéliser et d’exploiter la connaissance des objets gérés est présentée dans la Figure 45. Celle-ci peut se décomposer en trois parties et est basée sur le modèle de définition de données BIM appelé C-DMF (Vanlande et al., 2008). Nous retrouvons dans l’architecture les briques CMF (Context Model Framework) et DMF qui composent l’architecture de base du BIM. Celles-ci correspondent respectivement d’une part à une architecture de graphes pour l’ontologie permettant la gestion du contexte et le versioning (CMF) ainsi que des opérateurs de graphes facilitant l’application des changements de conceptualisation, et d’autre part à une syntaxe unifiée basée sur les langages de représentation des connaissances OWL, RDFS, et de règles RuleML, SWRL, permettant l’implémentation de la brique C (DMF). Nous ajoutons à cette architecture la prise en compte d’opérateurs de gestion de l’espace et du temps, notion importante dans les SIG, ainsi que la définition des contextes locaux qui nous permettent d’effectuer une multireprésentation sémantique des données.

Les opérateurs de relations spatio-temporelles définis dans la couche des données peuvent être utilisés dans la couche de contexte pour lier certains modèles de données : on parle de synchronisation des modèles. Ainsi, il devient par exemple possible de définir l’inclusion spatiale au niveau des modèles de données entre les biefs d’un canal et ses écluses pour reprendre l’exemple cité dans l’introduction, ou l’inclusion temporelle entre deux événements (une terrasse est couverte *pendant* qu’il pleut). La Figure 44 illustre cet exemple de lien topologique entre les deux modèles de graphe avec une relation spatiale, TPP - *Tangential proper part of*, (présentée plus loin). Les relations de topologies sont définies au niveau du modèle de données et se propagent aux instances du modèle.

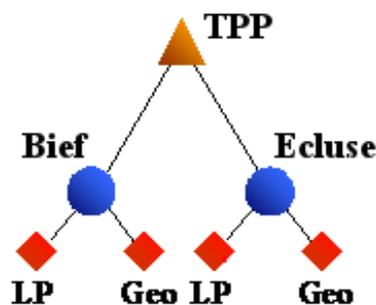


Figure 44. Exemple de relation spatiale (inclusion tangente) entre deux modèles de données

La prise en compte des notions d’espace et de temps évoqués ci-dessus est basée en partie sur les travaux de MADS (Spaccapietra et al., 2002) étudié dans l’état de l’art. Ces travaux proposent des solutions pour modéliser le temps, l’espace et permettre une multireprésentation des objets dans des structures de données adaptées, ces quatre dimensions (espace, temps, multireprésentation et structure) étant orthogonales, c’est à dire que