

La 3D dans les SIG

L'idée de construire un SIG avec des représentations à trois dimensions part du constat que nous vivons dans un monde à trois dimensions et que la représentation traditionnelle des données géographiques en projection est, dans certains domaines, source d'imprécision et provoque des pertes de données (suppression des objets volumiques, impossibilité de représenter correctement les falaises et les surplombs, bâtiments fortement dégénérés...). Il en découle que certaines applications sont impossibles à réaliser (propagation du bruit dans l'espace, guidage d'engins militaires...) ou bien donnent des résultats incorrects en raison de la non-conformité des données avec le monde réel (calcul de distances entre bâtiments et lignes électriques, par exemple) (De La Losa, 2000). Or, à l'ère du numérique et de la 3D, non seulement logicielle, mais aussi matérielle, les données géographiques peuvent être tridimensionnelles et s'affranchir des contraintes de la représentation bidimensionnelle. La 3D permet notamment de représenter des réseaux souterrains complexes (eaux, électricité, gaz...), de faire des calculs d'inter-visibilité ou de trajectoires plus précis que la 2D et de rendre plus accessible la donnée géographique aux personnes qui ne sont pas familières avec celles-ci.

Dans la thèse de (Poupeau, 2008), le SIG 3D est présenté comme étant « un système capable de modéliser, représenter, gérer, manipuler, analyser et supporter des décisions fondées sur l'information associée à un phénomène 3D » et doit constituer une plateforme susceptible d'intégrer des données modélisées différemment, qui sont d'origine et de dimension variées, et, au-delà de cette intégration, de les analyser, c'est-à-dire extraire de l'information utile pour supporter des décisions. Cependant les SIG 3D actuels sont le plus souvent restreints à de simples viewers-3D dotés de quelques fonctionnalités. En effet, le développement des SIG 3D est freiné par (selon (Poupeau, 2008) et (Abdul-Rahman, 2007) :

- la difficulté d'acquérir des objets à la géométrie complexe ;
- l'incapacité de gérer l'intégration de données dont la géométrie et la topologie sont modélisées de manières différentes ;
- les problèmes de (re)mise en cohérence des données et de mise en relation des objets. Les modèles de description des relations entre objets, fondés sur des principes de topologie, nécessitent une reconstruction précise de la géométrie des objets. Si deux objets ne sont pas parfaitement mis en relation, certains calculs risquent d'être erronés ;
- le manque d'outils d'analyse spatiale et de requêtes 3D ;
- les structures de données, puisque bien qu'existant de nombreuses structures à la fois pour les données 2,5D et 3D, chacune possède ses points forts et ses faiblesses ;
- les modèles de données : les données spatiales peuvent être modélisées de différentes manières, chaque modèle devant être capable de décrire les relations entre les données de telle sorte que l'information puisse être générée à partir de celles-ci.

3.1 Premiers pas vers la troisième dimension

Le premier pas vers la troisième dimension dans les bases de données géographiques a consisté à ajouter un attribut altitude sur chacun des points des bases de données en deux dimensions (Oosterom, 1994). Le résultat

est appelé 2,5D et non 3D, car il subsiste encore de fortes contraintes liées au fait que l'altitude soit fonction de x et de y . On ne peut en effet pas superposer plusieurs points. Pour représenter le terrain à une échelle suffisamment petite (échelle inférieure au 1 : 100 000), la 2,5D peut être jugée satisfaisante puisque l'on arrive à négliger les falaises et autres surplombs grâce au processus de généralisation. Cependant, la 2,5D présente l'avantage de pouvoir être gérée au moyen de modèles bidimensionnels puisque l'altitude est stockée comme un attribut alphanumérique quelconque. Les SIG 2D n'ont donc subi aucune transformation pour pouvoir gérer cette troisième dimension (mis à part l'élaboration d'un outil de visualisation à effets tridimensionnels).

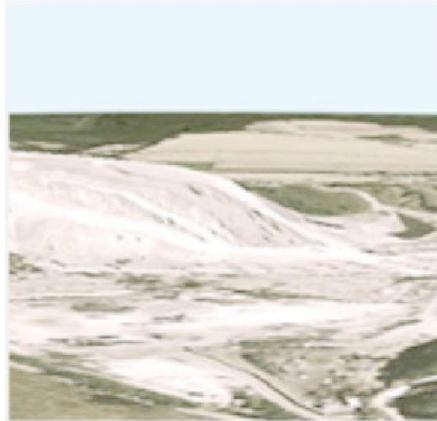


Figure 30. Exemple de MNT habillé avec une orthophoto pour plus de réalisme (IGN).

La modélisation du terrain est une problématique à part entière. Il existe de nombreux moyens de représenter un terrain, dont les représentations raster et vecteur. Dans le cas des MNT (Modèles Numériques de Terrain) Raster (on parle aussi de matrice d'altitude), on possède une répartition régulière de points qui définit un maillage de la surface du terrain, les dimensions de la maille définissant la résolution spatiale planimétrique du MNT (plus l'espacement des points est serré, plus la résolution est grande et plus le MNT est fin et riche en détails topographiques). Les MNT vecteur, sont en fait une triangulation de la surface du terrain. On l'utilisait déjà à l'époque des premiers SIG vectoriels dans les années 70. Les semis de points de mesure utilisés dans ce type de MNT sont souvent irréguliers et la densité varie en fonction de la complexité du relief et de la précision recherchée. Chaque point est relié à deux voisins pour former un réseau de triangles qui ne doit laisser apparaître aucun trou et aucune superposition de triangles. On parle également de TIN (Triangular Irregular Network). La Figure 30 montre une capture d'écran provenant du Géoportail⁵⁴ présentant un modèle numérique de terrain texturé avec une orthophotographie.

La construction de ces reliefs 2,5D est soit entièrement intégrée aux SIG (Gestionnaire de MNT de GeoConcept 3D⁵⁵, par exemple, ou bien ArcGIS 3D Analyst d'ESRI⁵⁶), soit c'est un logiciel à part entière pour la visualisation comme Leveller de Daylon Graphics⁵⁷, Vistapro Renderer de MonkeyByte⁵⁸, ou Terragen de Planetside Software⁵⁹ (création d'un relief à partir d'une image composée de pixel où la couleur détermine une altitude). Lorsque le module 3D (2,5D) est intégré au SIG, certaines applications peuvent être proposées : calculs de pentes ou zones visibles à partir de points. Les résultats de ces calculs dépendent bien sûr des données, et comme ces données ne sont qu'en 2,5D, les zones visibles peuvent être assez différentes de ce qui peut être

⁵⁴ Le Géoportail est un portail Web public appartenant à l'IGN et permettant l'accès à des services de recherche et de visualisation de données géographiques ou géolocalisée pour l'ensemble du territoire français. www.geoportail.fr

⁵⁵ <http://www.geoconcept.com/3D-for-GeoConcept.html>

⁵⁶ <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/3danalyst/index.html>

⁵⁷ <http://www.daylongraphics.com/products/leveller/>

⁵⁸ <http://store.monkeybyte.com/index.php/tools/vistapro-renderer-download-pc.html>

⁵⁹ <http://www.planetside.co.uk/>

constaté dans la réalité (les bâtiments et forêts ne sont généralement pas pris en compte, car seul le terrain est utilisé).

L’IGN constitue depuis plusieurs années une base de données en 2,5D : la Base de Données Topographique (BD Topo). Cette base de données regroupe différents thèmes (voies de communication routière, hydrographie, bâtiments, végétation, limites administratives...) pour des échelles allant du 1 : 5 000 au 1 : 50 000.

Les applications sont diverses, certaines s’appliquent à de vastes MNT alors que d’autres sont ponctuelles. On peut définir également le modèle numérique d’élévation qui pour chaque point de coordonnées (x, y) donne l’altitude maximale, c’est-à-dire un modèle qui représente à la fois le sol et le sur-sol (objets 3D).

3.2 La topologie en 3D

Les modèles topologiques 3D sont souvent une simple extension des modèles 2D existant. Ainsi leur base est composée par les primitives géométrico topologiques que sont le nœud, l’arc et la face auxquels on ajoute une nouvelle primitive, le volume, délimité par un ensemble de faces. Depuis les années 90, plusieurs propositions de modèles topologiques sont ainsi apparues (Molenaar, 1990), (recommandations de l’ISO (ISO/TC211, notamment ISO 19107)), (Zeitouni, 1995) qui a travaillé sur la notion de topologie sémantique (placement des objets les uns par rapports aux autres et non plus par rapport à un référentiel).

3.2.1 La topologie dans les IFC et CityGML

Dans le cas où l’on souhaite construire un Système d’Information Géographique qui se base sur des normes existantes, la topologie est souvent une des possibilités offertes et ne nécessite pas forcément une prise en compte spécifique dans la définition du système comme il a été fait dans les travaux de recherche à l’IGN. Nous allons voir rapidement comment l’aspect topologique des modèles de bâtiments construits à partir de la norme IFC se manifeste, puis nous ferons de même avec les modèles urbains basés sur la norme CityGML.

Commençons l’analyse par la gestion de la topologie dans les IFC. Tout d’abord, précisons un peu ce que nous attendons de la topologie dans le bâtiment. D’après l’article de (Chena et al., 2004), il est possible de définir cinq catégories de relations topologiques sur les éléments et espaces d’un bâtiment :

- un composant est adjacent à un autre (adjacence),
- les composants sont disjoints (séparation),
- un composant en contient un autre (contenance),
- un composant en intersecte un autre (intersection),
- un composant est connecté à un autre (connectivité)

Il est possible de créer des représentations topologiques des bâtiments, mais ces relations ne sont pas toutes explicitées dans la norme IFC. On peut citer en exemple pour les relations existantes, la notion d’adjacence pour les pièces, déterminée par les objets Space Boundaries. Le schéma de la Figure 31 montre un extrait des classes IFC permettant de définir une représentation topologique à l’aide notamment de nœud (IfcVertex), d’arcs (IfcEdge) et de face (IfcFace) (le diagramme vient d’un article de (Clemen et Gründig, 2006)). La définition de cette représentation topologique est tirée de la norme ISO/IS 10303-42:1994 à laquelle des adaptations ont été apportées (convention de nommage, adaptation des entités STEP pour la prise en compte de l’héritage multiple et l’héritage non-exclusif, omission de l’attribut nom sur la représentation de l’objet...) (voir les spécifications IFC sur le sujet⁶⁰).

Comme pour les IFC, la norme CityGML s’appuie sur un modèle de représentation géométrico-topologique (OpenGIS, 2008). Les propriétés spatiales des éléments de CityGML sont représentées par un sous-ensemble d’objets issus du modèle géométrique de GML 3 (basé sur la norme ISO 19107 permettant de décrire et

⁶⁰ <http://www.iai-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>, section IFCTOPOLOGYRESOURCE

manipuler les caractéristiques spatiales d'un phénomène géographique en 3D). On peut ainsi définir de façon explicite à la fois les représentations géométriques, mais aussi topologiques. On y retrouve plusieurs classes pour définir les points, courbes, surfaces et solides nécessaires à ces représentations. On peut ensuite définir, à partir de ces géométries simples, des géométries combinées qui peuvent être une agrégation, complexes ou composites, chacune devant respecter un certain degré de topologie. Ainsi, les relations spatiales entre composants d'une agrégation de géométries n'ont aucune restriction topologique (ils peuvent être disjoints, se chevaucher, se toucher, ou être séparés), alors que les géométries complexes sont topologiquement structurées (chaque partie doit être disjointe des autres, sans se chevaucher et sont autorisées à toucher ou partager des parties sur la frontière des éléments). Les géométries composites sont des complexes particuliers qui ne peuvent contenir que des éléments de même dimension, disjoints, mais connectés à la frontière.

CityGML prévoit une modélisation explicite de la topologie, par exemple le partage d'objets de la géométrie entre éléments ou autre géométrie. Une partie de l'espace est représentée seulement une fois par un objet géométrique et est référencé par d'autres éléments ou géométries complexes qui sont définis ou bordés par la même géométrie : la redondance est évitée et les relations topologiques explicites entre les parties conservées. Pour implémenter la topologie, CityGML utilise le concept XML des XLinks fourni par GML. Ainsi, chaque objet géométrique qui pourrait être partagé est associé à un identifiant unique qui peut être référencé par une propriété géométrique GML en utilisant l'attribut href. L'inconvénient de ce concept est le fait que, contrairement au modèle topologique de GML3, la navigation entre objets topologiquement liés ne peut se faire immédiatement que dans un sens (de l'agrégation vers le composant).

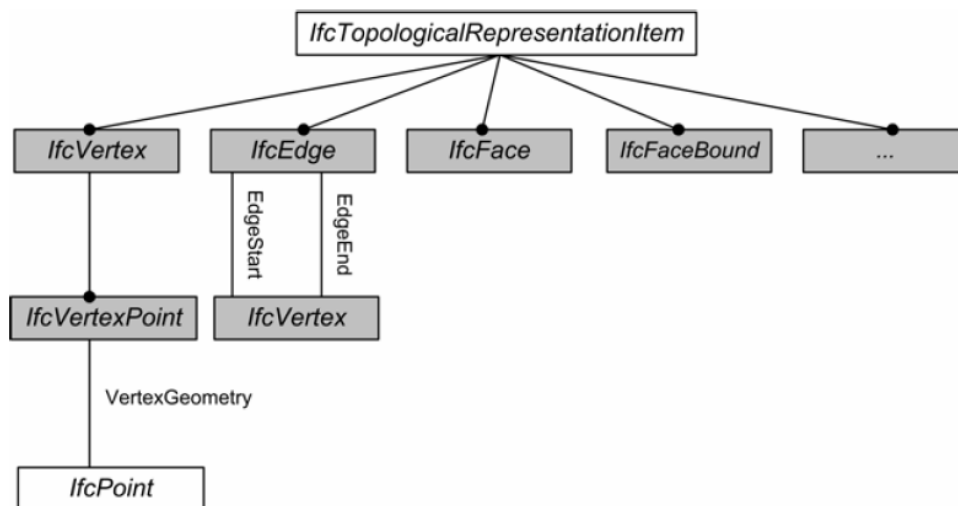


Figure 31. La topologie dans les IFC (extrait de (Clemen et Gründig, 2006))

3.2.2 Gestion d'un ensemble de données important

Cette partie va présenter quelques techniques d'optimisation simples de rendus de scènes 3D. Elle est basée en partie sur l'article de (Baxter, 2000) et vise à optimiser l'interactivité lors de l'affichage de grandes scènes urbaines en trois dimensions. En effet, les modèles 3D que nous sommes capables de générer aujourd'hui pour représenter de vastes scènes dépassent les capacités de la plupart des cartes graphiques, même si leur puissance ne cesse d'augmenter. Il faut donc optimiser la phase de rendu pour obtenir une interactivité satisfaisante lors du parcours de ces scènes. On parle bien sûr ici de visualisation en temps réel. Il en est de même pour les différents calculs qui sont rendus difficiles. Il est alors nécessaire de travailler avec des données simplifiées. Une des techniques d'optimisation de l'ergonomie et du confort de l'utilisateur consiste d'ailleurs à pré-calculer des scènes et afficher un résultat tronqué afin d'obtenir une bonne interactivité. Cependant, cette façon de procéder limite les interactions que l'utilisateur peut espérer avec la scène (on peut par exemple pré-calculer un quartier de ville avec de nombreux bâtiments et objets urbains en 3D et limiter l'affichage au

quartier avec ces objets particuliers ; mais si l’utilisateur souhaite visualiser le quartier voisin, ajouter ou supprimer des objets, il faudra calculer à nouveau la scène pour prendre en compte ces interactions).

Revenons maintenant à notre problématique initiale. L’optimisation que nous recherchons passe par une réduction du nombre de triangles (ou polygones) qu’on affiche simultanément dans une scène 3D. Les techniques de réduction existantes partent souvent d’un postulat simple : on ne dessine que ce que l’on peut voir, c’est-à-dire qu’on ne dessine pas les détails que l’on ne peut voir, et l’on ne dessine pas les objets que l’on ne voit pas. Ceci entraîne l’utilisation de deux techniques que nous allons décrire par la suite, les niveaux de détail et les techniques de culling.

3.2.3 Niveaux de détails (Levels of Details)

La technique des niveaux de détail consiste à calculer une série d’approximation des objets avec de moins en moins de détails, et par conséquent de polygones. Le plus souvent les LoD doivent être pré-calculés car les algorithmes sont coûteux en temps. Il existe deux manières d’utiliser les LoD : soit de manière discrète (on possède alors un ensemble d’approximations), soit de façon continue (on stocke l’opération de simplification et recalcule la meilleure approximation à chaque image). La Figure 32 nous montre un exemple de plusieurs LoD discrets calculés sur une sphère. La réduction du nombre d’arêtes est significative et pourtant la représentation de l’objet n’est pas affectée si les coefficients d’éloignement sont bien configurés (un objet placé loin peut être simplifié).

Visual impact comparisons and measurements					
Image					
Vertices	~5500	~2880	~1580	~670	140
Notes	Maximum detail, for closeups.				Minimum detail, very far objects.

Figure 32. Exemple de niveaux de détail discrets sur une sphère

Le mécanisme classique des LoD présenté ci-dessus peut être complété par une autre technique de LoD, les H-LoD (Hierarchical Levels of Detail). La description que nous allons en faire ici est tirée de l’article de (Erikson et al., 2001). Le but des H-LoD est d’accélérer l’affichage de scènes massives statiques ou dynamiques en utilisant une simplification hiérarchique. Contrairement aux autres LoD conventionnels, les H-LoD sont générés en simplifiant des portions séparées de la scène afin de créer un ensemble simplifié et plus fidèle que des approximations importantes d’objets isolés. Le principe de fonctionnement des H-LoD est relativement simple : on se base sur la structure du graphe de scène contenant tous les éléments géométriques à afficher. Le H-LoD va alors associer pour chaque nœud du graphe de scène une représentation spécifique qui englobe toute sa descendance. L’avantage de cette technique est qu’il est possible de couper des portions entières de la scène en affichant le H-LoD approprié d’un nœud (il n’est pas nécessaire de charger les nœuds fils). La Figure 33 illustre ce fonctionnement en montrant à la fois les H-LoD de la scène (Original Model) et les LoD discrets classiques de chaque objet.

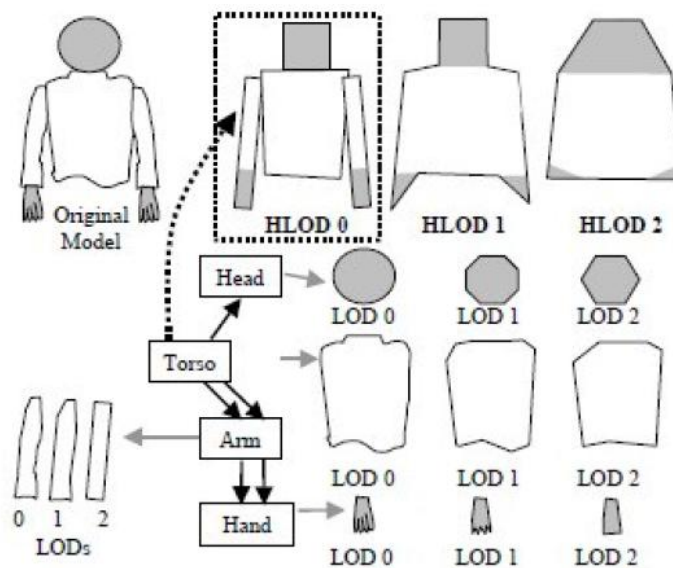


Figure 33. Fonctionnement des niveaux de détails hiérarchiques

Si l'on compare encore une fois l'implémentation de ces techniques dans les IFC et CityGML, on remarque que les IFC ne prévoient pour l'instant aucun mécanisme de normalisation des LoD, le besoin au niveau des bâtiments ne s'en faisant pas forcément ressentir. Par contre CityGML définit clairement cinq niveaux de détails à utiliser pour la représentation des scènes (illustrés dans la Figure 34) :

- **Niveau 0** : Ce niveau correspond le plus souvent à un modèle numérique de terrain en 2,5D, avec éventuellement l'application de photos aérienne. Le « sur-sol » n'est pas représenté dans ce niveau. Il permet la représentation de régions par exemple.
- **Niveau 1** : Ce niveau de détail des modèles de bâtiments peut être créé par l'extrusion de leur simple contour. Les toits sont plats et les murs ne sont pas texturés. L'échelle d'affichage de ce LoD est la ville.
- **Niveau 2** : Ce niveau ajoute des détails sur les toitures et peu appliquer des textures aux bâtiments. Ces textures peuvent être génériques ou provenir de photos des façades des bâtiments pour un rendu plus réaliste. La végétation peut également être représentée à ce niveau qui sera affiché à l'échelle des quartiers de ville.
- **Niveau 3** : Avec ce LoD on peut représenter les éléments architecturaux des bâtiments. Ainsi, les toits et les murs seront détaillés, les balcons, baies et projections apparaîtront sur les bâtiments en 3D (et non plus comme simple photo comme c'était le cas en LoD2). Des textures haute définition peuvent être appliquées aux façades. La végétation ainsi que les objets urbains sont des composants de ce LoD. Ce niveau de détail peut difficilement être généré automatiquement et sera donc produit par des logiciels de CAO. Ce LoD est affiché pour représenter l'extérieur d'un bâtiment.
- **Niveau 4** : Ce dernier niveau de détail complète le précédent en modélisant la structure intérieure des bâtiments. Par exemple, un immeuble est composé de pièces, de portes, d'escaliers et de mobilier. Ce LoD sert à représenter l'architecture interne des bâtiments.

Ces deux derniers niveaux de détail sont ceux qui composent la maquette numérique d'un bâtiment, ou BIM. Ils sont souvent créés depuis des logiciels d'architectes (hors SIG). Le format IFC permet de produire des BIM normalisées et indépendantes de l'application qui les a produites. Elle est complémentaire avec CityGML : la maquette IFC du bâtiment est très complète et contient de nombreuses informations (murs, toiture, portes, fenêtres, équipements...) là où CityGML ne représentera que la forme externe des objets selon ses différents niveaux de définition. À l'inverse, au niveau du site, les IFC représentent (de manière facultative) vaguement la

forme du terrain alors que CityGML permet l’affichage des éléments composant un site urbain. Les deux porteurs de ces normes, BuildingSmart pour les IFC et OGC pour CityGML, travaillent ensemble à l’interopérabilité des maquettes numériques des bâtiments et des territoires.

3.2.4 Le découpage (culling)

Bien que les techniques de niveaux de détail améliorent grandement les performances de rendu des scènes, tous les objets, même simplifiés n’ont pas besoin d’être affichés ni même chargés en mémoire. Les techniques de culling sont justement utilisées pour déterminer les objets à charger et constituent une autre technique de réduction de polygones. Il existe plusieurs types de culling :

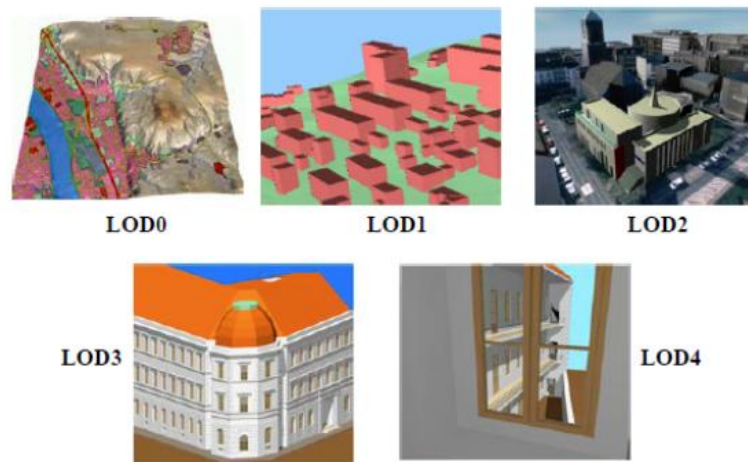


Figure 34. Les LoD dans CityGML

- le frustum culling : le plus simple et le plus couramment utilisé. On définit une zone de visibilité (dont la forme la plus courante est une pyramide tronquée) et l’on affiche dans la scène uniquement ce qui est dans cette zone. Cette technique est très efficace lorsque la scène est organisée de manière hiérarchique puisqu’il est alors possible de couper des branches entières du graphe de scène.
- l’occlusion culling vise à déterminer les objets qui ne sont pas visibles, car cachés par d’autres objets. C’est un algorithme relativement difficile à mettre en place dans les scènes globales (un extérieur par exemple). En effet, pour qu’un objet soit coupé de la scène, il doit être entièrement caché par un (ou plusieurs) autre(s). Il y a alors deux approches possibles : soit on regarde si un objet est caché au moment de le charger, soit on regarde quels objets en cachent d’autres. Quelle que soit la technique utilisée, l’occlusion culling est généralement plutôt coûteux en termes de performances, mais pour certains types de scènes avec de forts taux d’occlusion il peut se révéler d’un gain non négligeable.
- le portal culling est un type d’occlusion culling particulier. Il vise à définir un réseau de cellules reliées par des portails. Reste à définir par la suite les cellules visibles depuis un portail pour un point de vue donné. Cette technique est très efficace dans les scènes d’intérieur puisque le plus souvent les murs des pièces cachent une grande partie des autres objets extérieurs à cette pièce.

4 Normes.

La gestion technique de patrimoine urbain passe par la modélisation de l’information urbaine. Pour atteindre cet objectif, il faut combiner différents domaines de modélisation liés à l’urbain, aux villes, à l’information géographique et aux bâtiments. Cependant, il existe de nombreuses différences entre toutes ces spécialités, que ce soit au niveau de la terminologie, des normes d’information et de modélisation, de l’échelle d’intérêt, et

de la nature technique des problèmes à résoudre. Ainsi, coupler l'information de ces différents domaines pour créer un système qui répondrait à nos attentes va nécessairement créer des problèmes au niveau de l'échange d'information, ou interopérabilité. Les problèmes d'hétérogénéité représentent l'une des entraves majeures à l'interopérabilité. Ce genre de problème ne date pas d'hier. En effet, en étudiant les travaux de (Sheth, 1998) et (Nicolle, 2005), on peut distinguer cinq niveaux d'hétérogénéité entre les systèmes, en fonction des besoins d'interopérabilité plus ou moins complexes qu'ils exigent. Le premier type d'hétérogénéité, apparu dans les années 70, est celle au niveau système : comment résoudre les problèmes de communication entre matériels et systèmes d'exploitation différents. C'est l'avènement des protocoles internet qui a apporté une réponse. L'hétérogénéité syntaxique soulève, elle, les problèmes relatifs aux langages de manipulation de données. Puis ce sont posés les problèmes de l'intégration de schémas pour permettre la mise en commun d'informations provenant de sources diverses (hétérogénéité schématique) et la traduction de modèles de données (schémas, requêtes et données) pour éliminer l'hétérogénéité sémantique de différentes représentations (hétérogénéité structurelle). Comme cette présentation le suggère, l'hétérogénéité sémantique est aujourd'hui l'un des problèmes d'interopérabilité qui pose le plus de problèmes. De nombreux travaux sont effectués dans ce domaine, et particulièrement dans des thématiques liées à l'information géographique, par exemple dans (Mignard et Nicolle, 2011), (Li, 2011) et (Huang, 2011). Celle-ci est décrite par Amit Sheth comme la possibilité de relier le contenu et la représentation des sources d'information à des entités et des concepts du monde réel. Idéalement, des systèmes sémantiquement interopérables pourraient répondre de façon unifiée à des requêtes de haut niveau portant sur les concepts et ne nécessitant pas la connaissance de la structure ou du schéma de la base de données.

Dans le domaine de l'information géographique de nombreuses normes ont été proposées pour répondre au problème de l'hétérogénéité. Les normes constituent un premier moyen de lutter contre les problèmes d'hétérogénéité rencontrés dans la résolution de notre problématique. Nous donnons ici un aperçu non exhaustif des normes que nous sommes amenés à rencontrer lors de nos travaux sur l'information géographique. Ces normes, approuvées ou en cours d'élaboration, nous montrent en particulier les tendances à suivre pour élaborer un système d'information fiable et, par la suite, interopérable. Nous allons de fait nous intéresser aux normes et standards utilisés dans la gestion et la modélisation des connaissances du bâtiment, des villes, de l'information géographique et du temps.

Plusieurs organisations, consortiums d'industriels et communautés sont impliqués dans le développement des normes relatives à la modélisation urbaine.

- ISO/TC 211⁶¹ – Information géographique/géomatique est en charge des normes pour l'information géospatiale ;
- L'OGC se concentre sur les normes pour les services géographiques;
- buildingSMART Alliance travaille sur le développement de normes pour la construction et la gestion technique de patrimoine urbain;
- Le Web3D⁶² Consortium est concerné par les standards d'échange des données 3D à travers Internet;
- Open Design Alliance cherche à rendre interopérables les données CAO par l'intermédiaire d'API (Application Programming Interface, Interface de programmation des applications) libres (par exemple DWG, DGN...).
- Khronos Group⁶³ crée des standards ouverts pour la création et l'accélération du calcul parallèle et des applications graphiques;

⁶¹ International Organisation for Standardization / Technical Committee 211, <http://www.isotc211.org/>

⁶² <http://www.web3d.org/>

⁶³ <http://www.khronos.org/>

- ISO/TC 204⁶⁴ – Normalisation des systèmes de commande, de communication et d’information dans le domaine des transports de surface urbains et ruraux.
- Dans le domaine de l’information géographique et spatiale, nous retrouvons aussi, au niveau national, l’AFNOR⁶⁵ et le CEN⁶⁶ TC 287 au niveau européen.

Présentons plus en avant les deux principaux acteurs de la normalisation géographique. Depuis 1995, l’ISO/TC 211 qui élabore des normes internationales pour les données, et l’OGC, un consortium d’industriels qui développe des spécifications d’interface ordinateur, sont devenus des protagonistes de premier plan sur la scène internationale géographique. Par la suite, l’ISO/TC 211 et l’OGC ont formé un groupe de coordination des développements afin d’avoir une base commune et minimiser les chevauchements techniques. D’un côté l’OGC soumet des spécifications pour normalisation ISO via l’ISO/TC 211. L’intérêt de cette démarche est, qu’en tant qu’industriel, l’OGC a un programme d’essais et de conformité pour les normes qu’il développe. De l’autre côté, il existe un autre programme d’interopérabilité de l’OGC qui permet le développement des normes par un prototypage rapide. Nous allons maintenant décrire les différentes normes et aspects techniques que nous voulons prendre en considération pour la suite. Cette partie va s’articuler en deux temps : la description des normes de méthodologies ISO que l’on trouve dans le comité technique 211, puis les normes de spécification utilisant ces normes telles que GML, CityGML et les IFC.

4.1 Présentation des normes géographiques

Cette partie présente les normes qui ont guidé nos travaux de recherche afin d’aboutir à une solution la plus interopérable possible. Nous nous sommes en effet aperçus que, dans le milieu de l’information géographique, cette notion d’interopérabilité est omniprésente. En témoignent les nombreux organismes qui travaillent à cette cause et l’importance du groupe de travail sur l’information géographique au sein de l’ISO (Laurini, 2001). Le comité technique ISO 211 (ISO/TC 211) a développé la famille de normes ISO 19100, soit une quarantaine de normes et spécifications techniques dans le domaine de l’information géographique. Ce groupe de travail qui regroupe de nombreux pays a pour mission de développer et déployer ces normes à l’international. Le champ d’action de ISO/TC 211, tel que défini dans (ISO/TC 211, 2009a) est le suivant: Normalisation dans le domaine de l’information géographique numérique.

Ce travail vise à établir un ensemble structuré de normes pour les informations concernant des objets ou des phénomènes qui sont directement ou indirectement associés à un emplacement lié à la Terre. Ces normes peuvent spécifier, pour l’information géographique, des méthodes, outils et services pour la gestion des données (y compris la définition et la description), l’acquisition, le traitement, l’analyse, l’accès, la présentation et le transfert de ces données sous forme numérique / électronique entre les différents utilisateurs, systèmes et lieux. Les travaux doivent être liés aux normes appropriées des technologies de l’information et des données lorsque cela est possible, et fournir un cadre pour le développement des applications spécifiques à un domaine utilisant des données géographiques.

Les objectifs généraux de l’ISO / TC 211 sont les suivants:

- accroître la compréhension et l’utilisation de l’information géographique;
- accroître la disponibilité, l’accès, l’intégration et le partage de l’information géographique;
- promouvoir l’utilisation efficace (faire les choses justes), efficiente (faire juste les choses) et économique de l’information géographique numérique et du matériel et logiciels associés;
- contribuer à une approche unifiée pour aborder les problèmes mondiaux écologique et humanitaire.

⁶⁴ <http://itsa.org/industryforums/isotc204>

⁶⁵ Association Française de NORmalisation

⁶⁶ Comité Européen de Normalisation

Il nous semble donc opportun de respecter ces normes pour nos travaux. Les normes sont rangées en familles extensibles et modulaires. La Figure 35, extraite de (CNIG, 2006) nous donne un aperçu de cette organisation. Ce schéma n'est pas complet puisqu'il date de 2006 et que des normes ont été ajoutées ultérieurement. Nous allons à présent introduire les normes qui ont le plus d'intérêts pour nos travaux.

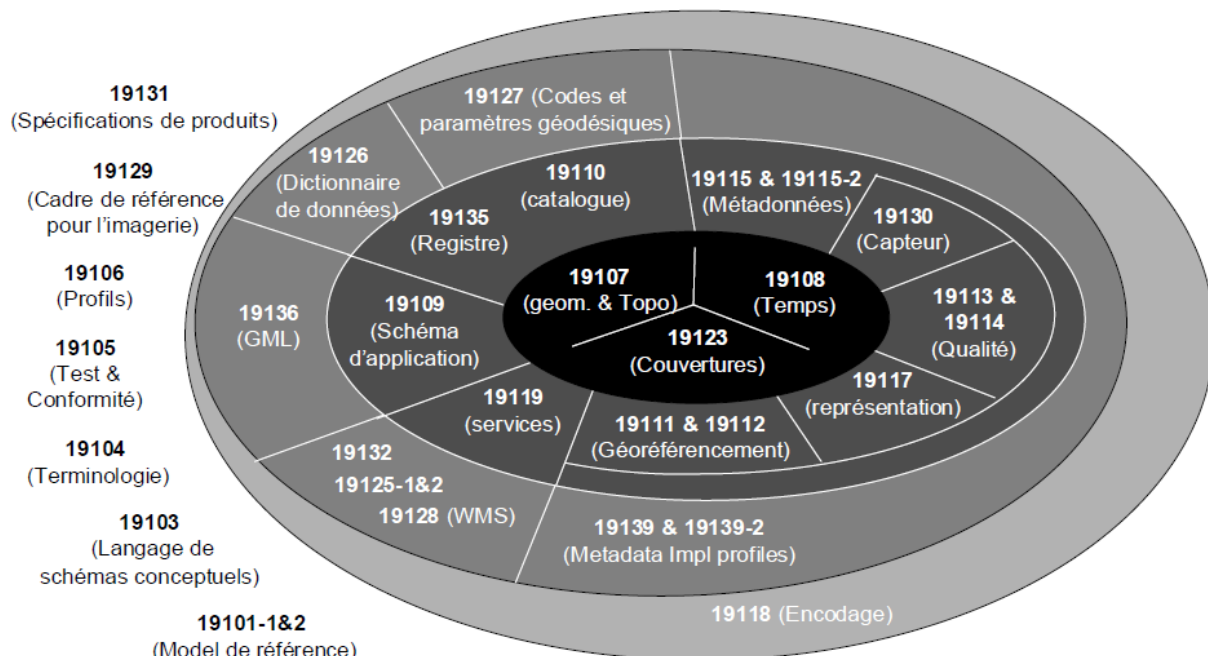


Figure 35. Les normes et spécifications techniques de l'ISO/TC211 (CNIG, 2006)

4.1.1 Les normes sur les ontologies

Nous allons commencer par lister les normes qui nous semblent intéressantes, puis dans un second temps la manière dont elles pourraient nous servir. Bien sûr, cette liste n'est pas exhaustive, dû au nombre de normes qu'il faudrait traiter, déjà rien que dans ce comité technique (56⁶⁷).

Aujourd'hui, les ontologies sont partie intégrante des bases de données et des systèmes. Cela permet une interopérabilité complète sur le Web grâce à des technologies et des concepts du Web Sémantique. La première série de normes qui nous intéressent concerne les ontologies. Les travaux en relation avec les ontologies et plus globalement le Web Sémantique dans les groupes de travail d'ISO/TC211 sont nombreux. Dans le document (ISO/TC 211, 2009b) une classification en est faite selon les aspects terminologies, règles et méthodes pour la description du contenu, description du contenu, schémas, services localisés, format commun. Nous allons lister ici celles qui nous semblent le plus importantes.

- ISO 19107:2003 - Schéma spatial
- ISO 19108:2002 - Schéma temporel
- ISO 19110:2005 - Méthodologie de catalogage des entités
- ISO 19115 - Métadonnées
- ISO 19136 :2007 - Langage de balisage en géographie (GML pour Geographic Markup Language)

⁶⁷ Source : http://www.iso.org/iso/fr/iso_technical_committee.html?commid=54904

Deux projets ont été inscrits à l’ISO fin 2010 qui méritent, dans le cadre de nos travaux, une attention particulière :

- ISO/DTS 19150-1 - Ontologie - Partie 1 : Structure
- ISO/NP19150-2 - Ontologie - Partie 2 : Règles pour le développement d’ontologies dans le langage d’ontologie Web (OWL)

À ce titre, la définition des règles et lignes directrices dans OWL pour les ontologies traitant de l’information géographique est une condition préalable. Il faudra ensuite assurer la cohérence entre les ontologies dans le domaine de l’information géographique et celles des autres domaines, ce qui permettra de simplifier le développement d’applications basées sur les ontologies. Enfin, il faudra les relier aux données affichées sur le Web provenant de sources et communautés diverses.

4.1.2 ISO 19110 - Méthodologie de catalogage des entités

Les entités géographiques sont des phénomènes du monde réel associées à un lieu sur la Terre, à l’égard desquelles des données sont recueillies, tenues à jour et diffusées. Les catalogues d’entités qui définissent les types d’entités, leurs fonctions, leurs attributs et leurs associations représentés sous forme de données géographiques sont indispensables pour convertir les données en informations exploitables. De tels catalogues d’entités favorisent la diffusion, le partage et l’utilisation des données géographiques en facilitant la compréhension du contenu et de la signification des données. À moins que les fournisseurs et les utilisateurs de données géographiques ne partagent la compréhension des types de phénomènes du monde réel représentés par les données, les utilisateurs ne pourront pas juger si les données fournies conviennent à leurs besoins.

La disponibilité de catalogues d’entités normalisées pouvant être utilisés à maintes reprises réduira les coûts d’acquisition des données et simplifiera le processus de spécification des produits pour les ensembles de données géographiques.

La présente norme internationale ISO/TS 19110:2005 (actuellement en révision) fournit un cadre normalisé d’organisation et de présentation de la classification des phénomènes du monde réel dans un ensemble de données géographiques. Tout ensemble de données géographiques constitue une abstraction grandement simplifiée et réduite d’un monde complexe et divers. Un catalogue de types d’entités ne peut jamais saisir la richesse de la réalité géographique. Il convient toutefois qu’il présente l’abstraction particulière représentée dans un ensemble de données déterminé d’une façon claire et précise et sous une forme facilement compréhensible et accessible aux utilisateurs des données.

Il existe deux niveaux d’entités géographiques : les occurrences d’entité et les types d’entité. Au niveau de l’occurrence, une entité géographique est représentée comme un phénomène discret qui est associé à des coordonnées géographiques et temporelles et peut être caractérisé par un symbole graphique particulier. Ces occurrences d’entité individuelles sont regroupées dans des classes ayant des caractéristiques communes : les types d’entité. Il est reconnu que l’information géographique est perçue de manière subjective et que son contenu dépend des besoins d’applications particulières. Les besoins d’applications particulières déterminent la manière dont les occurrences d’entité sont regroupées en types d’entité à l’intérieur d’un schéma de classification particulier.

La norme ISO 19109 *Information géographique — Règles de schéma d’application* spécifie comment les données doivent être organisées afin de refléter les besoins particuliers d’applications présentant des exigences similaires en matière de données.

Il est à noter que la description complète du contenu et de la structure d’un ensemble de données géographiques est donnée par le schéma d’application développé conformément à l’ISO 19109. Le catalogue des entités définit la signification des types d’entités et leurs attributs d’entité, fonctions d’entité et associations d’entité associés contenus dans le schéma d’application.

Les critères de collecte servant à identifier les phénomènes individuels du monde réel et à les représenter en tant qu'occurrences d'entité dans un ensemble de données ne sont pas spécifiés dans la présente Norme internationale. Du fait qu'ils ne sont pas inclus dans les normes, il est recommandé d'inclure ces critères de collecte séparément dans la spécification de produit de chaque ensemble de données.

Organiser de manière normalisée les informations d'un catalogue d'entités n'aboutira pas automatiquement à une harmonisation des applications ou à leur interopérabilité. Dans les situations où les classifications des entités sont différentes, la présente norme peut au moins servir à clarifier les différences et, de cette façon, aider à éviter les erreurs qui résulteraient de leur non-prise en compte. La norme peut également être utilisée comme cadre standard pour harmoniser les catalogues d'entité existants dont les domaines se chevauchent.

La norme ISO 19110 permet d'atteindre un niveau de granularité fin pour décrire des données géographiques qui composent un lot de données. Elle est utilisée au sein de la norme plus globale ISO 19115 qui décrit l'ensemble des métadonnées (auteurs, mode de diffusion, système de projection...).

4.1.3 ISO 19150-1 - Ontologie – Partie 1 : Structure

Cette norme constitue un nouvel élément de travail depuis fin 2010 (ISO/TC 211, 2010). Une nouvelle norme en création commence par une proposition de nouvel élément de travail (New Work Item Proposal, NWIP ou NP). Il faut ensuite environ 2 à 3 ans de travail avant sa publication.

Afin de bénéficier des développements résultant du Web Sémantique et de contribuer à l'interopérabilité de l'information géographique avec d'autres sources d'information, il devient essentiel que les modèles et les schémas des applications d'information géographiques UML de l'ISO/TC 211 soient fournis sous une forme qui est compatible avec les technologies du Web Sémantique. En tant que telle, la définition d'une structure qui spécifie l'ensemble des normes nécessaires pour faire face à l'interopérabilité sémantique en utilisant les ontologies et leurs dépendances est nécessaire. Cette partie s'appuie essentiellement sur les résumés des études de l'ISO19150 et les résultats de l'équipe du projet.

Les normes ISO pour l'information géographique (c'est-à-dire la série de normes de l'ISO/TC 211) fournissent une structure cohérente pour la description de l'information géographique en termes de schéma d'application basé sur les éléments. Ces éléments de base de la géométrie, des métadonnées, des services et autres sont bien définis. Toutefois, les normes ISO pour l'information géographique autorisent une grande liberté dans le développement et la production de données afin d'établir des catalogues d'objets variés pour mieux décrire le monde réel. Cette liberté est importante puisqu'elle permet aux normes d'être appliquées dans de nombreuses situations. En contrepartie, il est plus difficile de trouver et à la fois intégrer des données géographiques.

Le Web Sémantique a introduit le web des données. Il pourrait être considéré comme une énorme base de données ouverte dans le monde entier que les gens peuvent interroger selon leurs besoins, leur compréhension, et leur niveau d'abstraction des phénomènes du monde réel ou des événements et obtenir des réponses précises, détaillées, et appropriées, de la même façon dont les gens communiquent entre eux. Cette approche implique des capacités de raisonnement reposant sur des bases de connaissances, c'est-à-dire les ontologies. Le Web Sémantique apporte de nouvelles possibilités dans le domaine de l'information géographique pour implanter une nouvelle génération de normes qui puisse bénéficier du Web Sémantique pour réaliser l'interopérabilité sémantique de l'information géographique.

Les ontologies consistent en une représentation formelle des phénomènes d'un univers de discours (c'est-à-dire les connaissances représentables) avec un vocabulaire sous-jacent, y compris les définitions et les axiomes. Nous obtenons alors un sens voulu explicite, et la description des phénomènes et de leurs interrelations. Les données provenant de différentes disciplines, y compris l'information géographique, peuvent être intégrées et contribuer à la résolution de problèmes spécifiques (par exemple déversement de pétrole), ou plus globaux (par exemple, le changement climatique). Cette spécification technique ISO 19150-1 définit une structure de haut niveau qui encadre les normes portant spécifiquement sur la sémantique de l'information géographique par le biais d'ontologies. Les autres parties de cette structure sont les suivantes (Brodeur, 2010):

- ISO/NP 19150-2, Information géographique - Ontologie - Partie 2: Règles pour le développement des ontologies dans le langage d’ontologie Web (OWL), définit les règles et directives pour l’élaboration d’ontologies OWL, comprenant une correspondance entre des éléments de diagramme de classe UML et OWL ainsi que des règles pour décrire des schémas d’application en OWL;
- ISO 19150-3, Information géographique - Ontologie - Partie 3: les opérateurs sémantiques, définit des opérateurs sémantiques de proximité entre les concepts, ce qui vient compléter les opérateurs géométriques et temporels;
- ISO 19150-4, Information géographique - Ontologie - Partie 4: ontologie de services, identifie la structure d’une ontologie de services et définit la description des services Web pour l’information géographique dans un langage ontologique;
- ISO 19150-5, Information géographique - Ontologie - Partie 5: Registre de l’ontologie de domaine, définit internationalement le registre des ontologies de domaine de l’information géographique et de leur maintenance et fait le lien entre les concepts d’ontologies d’applications spécifiques dans un domaine donné;
- ISO 19150-6, Information géographique - Ontologie - Partie 6: Registre de l’ontologie de service, définit internationalement le registre des ontologies de services d’information géographique et de leur maintenance.

Ces parties sont complétées par les ontologies harmonisées de l’ISO/TC 211 constituant un ensemble d’ontologies OWL qui traduit et complète les modèles harmonisés de l’ISO/TC 211 développés en UML.

Après avoir regardé de plus près l’intérêt de l’ISO pour la normalisation des ontologies géographiques, intéressons-nous plus en détail à la norme consacrée aux schémas spatiaux.

4.1.4 ISO19107 - Schéma spatial

Cette norme est un ensemble de modèles conceptuels spatiaux. On l’utilise pour décrire et manipuler des données spatiales 3D ainsi que leurs caractéristiques.

Nous allons commencer cette partie par une petite définition, celle des features géographiques. C’est une notion que l’on retrouve dans de nombreuses spécifications ISO, dont notamment ISO19107 et ISO 19136 (GML). Nous parlerons parfois d’*éléments* ou d’*entités* géographiques en français. Dans ces spécifications⁶⁸, le feature est décrit comme « *une abstraction d’un phénomène du monde réel ; c’est un feature géographique s’il est associé à un emplacement relatif à la Terre* ». Une entité peut être caractérisée par ses propriétés géométriques et non géométriques. Par exemple, une route (l’entité) peut être décrite par un identifiant, son état, sa largeur, et la géométrie de son axe qui sont autant de propriétés. Les entités d’un même type sont regroupées en types d’entités. Ainsi, l’autoroute « A31 » et la « RN274 » sont deux entités du type d’entités « ROUTE ».

Dans cette norme, les caractéristiques spatiales sont décrites à l’aide d’attributs que l’on peut associer soit à un objet géométrique (dérivé de la classe GM_Object comme GM_POINT, GM_CURVE, GM_SURFACE...), soit à un objet topologique (dérivé de la classe TP_Object tels que TP_NODE, TP_EDGE, TP_FACE...), tel que décrit dans la Figure 36. Il existe également des opérations sur les données (intersection...) par le biais d’opérateurs

⁶⁸ ISO 19107 : http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=26012

spatiaux. Ce sont des fonctions permettant de manipuler, faire des requêtes, créer, modifier ou supprimer des objets spatiaux.

La partie géométrie des objets porte sur les informations de positionnement, de taille, d'orientation et de forme du phénomène géographique, ainsi que sur des informations de dimension de l'espace dans lequel il évolue. La particularité de cette norme est que le système de coordonnées de référence choisi pour définir la position de l'objet influe sur la géométrie de l'objet. C'est d'ailleurs la seule partie de l'information géographique définissant un phénomène qui est modifiée quand le système géodésique ou le système de coordonnées est modifié. Ainsi, l'objet est traité différemment en fonction du système de coordonnées dans lequel il a été défini (François et al., 2010).

La topologie est la partie de l'information géographique qui ne varie pas lorsque l'espace est déformé de manière élastique et continue ; par exemple, si l'on se réfère à la remarque ci-dessus pour la géométrie, la topologie, elle, est invariante par transformation de coordonnées. Dans le contexte de l'information géographique, la topologie est utilisée, entre autres, pour décrire les relations de connectivité (comme l'inclusion et l'adhérence entre les objets, utilisant également la notion de voisinage) entre les différents éléments d'un graphe à n dimensions. Les relations de topologie entre des éléments géographiques peuvent être recalculées à partir de la géométrie.

4.1.5 ISO 19108 - Schéma temporel

L'ISO 19108 est un standard international qui définit les attributs, opérations, associations et métadonnées en relation avec l'information temporelle. C'est la généralisation des SIG et des applications informatiques qui ont mené à conduire des études sur les données géospatiales dans de nombreux domaines. L'information géographique comprend aussi bien les données spatiales en 3 dimensions que nous venons de voir, mais également des données temporelles, utilisées dans des applications de simulation par exemple. Le temps représente une donnée du monde physique et de nombreux concepts décrits dans les spécifications de cette norme sont également applicables hors du domaine de la géographie. L'intention du comité technique 211 de l'ISO n'est pas de développer des normes indépendantes dédiées à la gestion du temps, mais de décrire les données temporelles utilisées pour l'information géographique.

Ce schéma temporel fournit des types similaires à ceux de la géométrie et de la topologie dans la norme ISO 19107, respectivement *TM_GeometricPrimitive* et *TM_TopologicalPrimitive* (Brodeur, 2000).

4.1.6 ISO 19136 - GML

L'un des résultats de la collaboration entre l'ISO/TC 211 et l'OGC est la publication d'une norme centrée sur les aspects d'implémentation de l'information géospatiale 2D et 3D : ISO 19136, correspondant au standard de l'OGC GML 3.2.1 de l'OGC pour l'information géospatiale 2D et 3D, publié en 2007. Il est utilisé pour encoder, manipuler, échanger et stocker de l'information géographique, par la description de schémas d'application (Cox et al., 2004). GML est un codage XML conforme à l'ISO 19118 :2011 qui spécifie les exigences pour la définition des règles de codage à utiliser pour l'échange de données conformes à l'ensemble de Normes internationales relatives à l'information géographique de l'ISO/TC 211^{69,70}. Du fait d'être un standard de l'OGC, GML est interopérable avec les spécifications OpenGIS® de l'OGC telles que Web Map Service (WMS) ou Web Feature Service (WFS). GML inclut à la fois la définition des propriétés spatiales et non-spatiales des éléments géographiques.

⁶⁹ ISO 19136 : http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=32554

⁷⁰ ISO 19118 : http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=44212

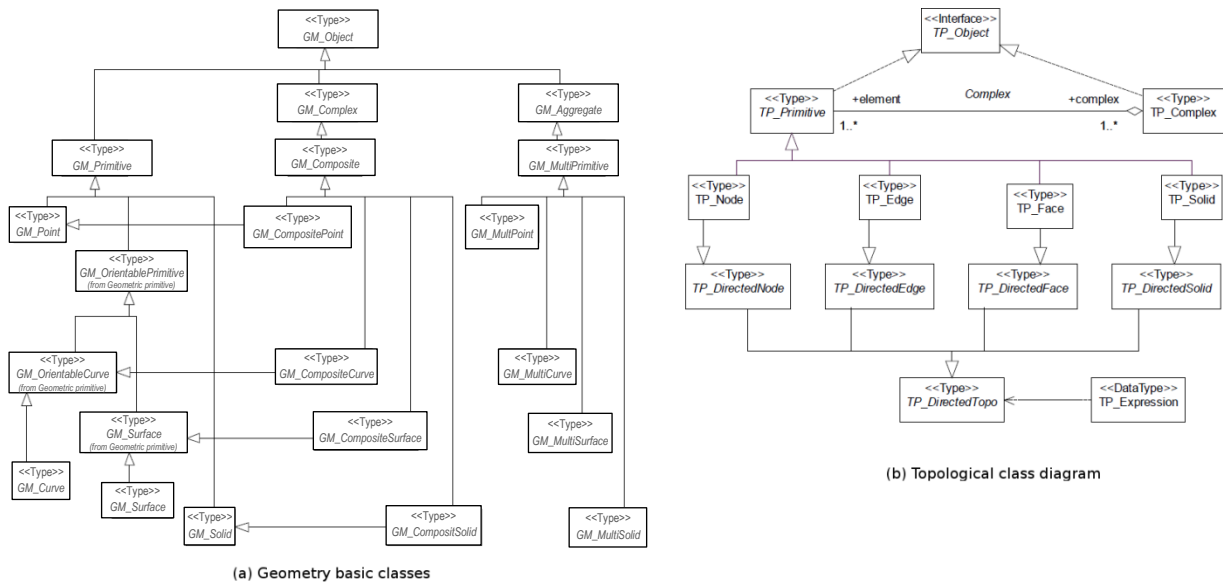


Figure 36. Les schémas conceptuels de l'ISO 19107

Dans les spécifications de GML, les features géographiques sont une notion importante et récurrente de la modélisation de l'information géographique. La définition est la même que celle utilisée dans la description de l'ISO 19107, le modèle géométrique de GML étant conforme à cette norme. Un feature correspond à la façon qu'utilise GML pour référer une chose à laquelle nous nous intéressons.

Comme nous l'avons évoqué plus tôt, les types d'entités d'une application ou domaine d'application sont précisés dans un schéma d'application. Un schéma d'application GML est spécifié dans un schéma XML qui importe le schéma GML. Il peut être construit soit par l'adhésion aux règles de schémas GML (article 21 de la spécification GML) pour la création d'un schéma d'application GML directement dans un schéma XML, soit en adhérant aux règles spécifiées dans la norme ISO 19109 pour les schémas d'application en UML, et conformément à la fois aux contraintes sur ces schémas et à la fois aux règles pour faire la correspondance aux schémas d'application GML (ISO/TC 211, 2009a). Il y a des extensions spécialisées en fonction de communautés par exemple CityGML ou SensorML^{71,72}. GML permet de définir des entités géographiques spécifiques à un domaine applicatif particulier grâce à l'utilisation de ces schémas d'application. Dans le domaine touristique par exemple, un schéma d'application contiendra les définitions des éléments géographiques tels qu'un musée ou un monument. Une autre notion importante dans GML est celle des profils. Les profils sont des restrictions logiques de GML qui peuvent être exprimées par un document, un schéma XML ou les deux. Ils servent à améliorer l'interopérabilité et réduire l'ambiguïté en n'autorisant qu'un sous-ensemble de GML. Nous pouvons citer en exemple les profils définis dans les spécifications GML et publiés ou proposés pour une utilisation publique :

- Point Profile, un profil pour les applications avec des géométries de points qui ne nécessitent pas la grammaire complète de GML ;
- GML Simple Features profile qui supporte les requêtes d'entités vectorielles et les transactions. On ne peut, en particulier, travailler dans ce profil qu'avec les trois géométries de base que sont les points, les lignes et les polygones ;
- Un profil GML pour GMLJP2 (GML en JPEG 2000) (Hayat et al., 2007)

⁷¹ SensorML sur la page de l'OGC : <http://www.opengeospatial.org/standards/sensorml>

⁷² Une liste de schémas connus et publiquement accessibles peut être trouvée à l'adresse suivante : http://en.wikipedia.org/wiki/GML_Application_Schemas

La partie géométrie occupe une place importante dans GML. C'est elle qui permet de réaliser la représentation visuelle du fichier, généralement sous forme d'une carte. Le schéma permet aussi de décrire un système géodésique en détail. Cela permet de pouvoir effectuer d'éventuelles conversions d'un système à un autre. Dans GML, une géométrie simple est caractérisée par des coordonnées en deux dimensions et une interpolation linéaire des courbes. GML fournit des éléments géométriques pour les géométries suivantes : *Point*, *LineString*, *LinearRing*, *Polygon*, *MultiPoint*, *MultiLineString*, *MultiPolygon* et *MultiGeometry*. En dehors des collections, la forme géométrique la plus complexe définie dans GML est le polygone. L'entité *Polygon* représente une aire délimitée par une frontière. Cette dernière est décrite par la propriété *exterior* dont la valeur est un élément *<LinearRing>* définissant les points de la frontière extérieure. La Figure 37 nous montre la structure de ces éléments géographiques. Ils ne sont pas tous complètement décrits afin de garder de la lisibilité dans le diagramme. De plus, en GML, les noms des éléments appelés *Exterior Boundary* et *Interior Boundary* sont *outerBoundaryIs* et *innerBoundaryIs*.

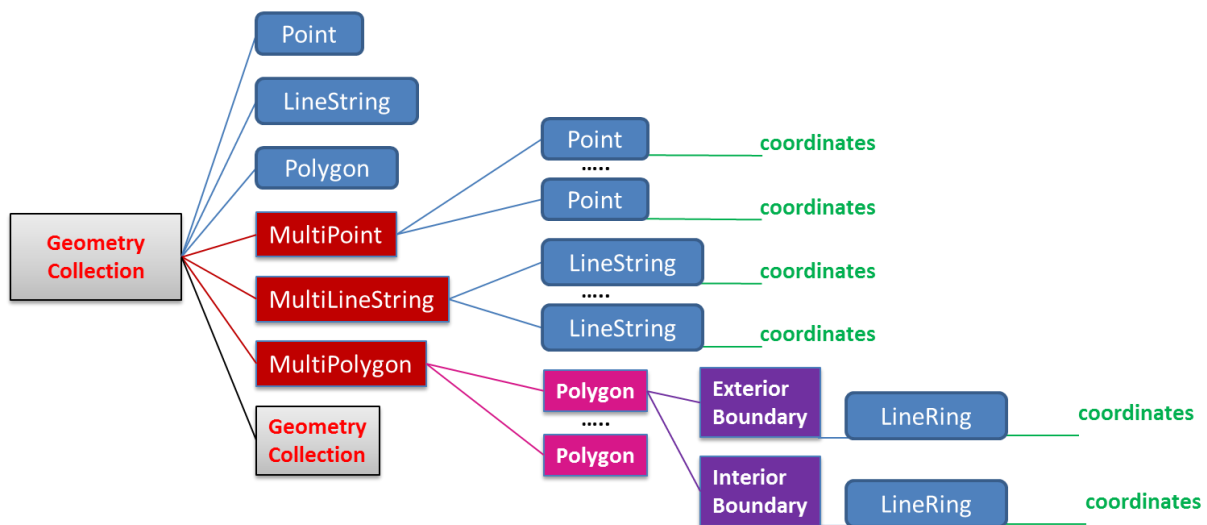


Figure 37. Structure de l'élément *geometricCollection* en GML

Les coordonnées des géométries dans GML sont décrites au moyen des balises *<coordinates>*, *<posList>* et *<pos>*. Elles sont encodées sous forme d'un ensemble de tuples séparés par des espaces. Les deux coordonnées (x et y) du tuple sont elles-mêmes séparées par des espaces. L'élément *<posList>* n'utilise que des espaces comme séparateur. L'élément *<pos>* ne peut contenir qu'un seul tuple de coordonnées. Les coordonnées d'une forme géométrique peuvent alors être décrites par l'élément *<coordinates>*, l'élément *<posList>*, ou une séquence d'éléments *<pos>*. Il existe également un élément *<Box>* permettant de délimiter une étendue en n'en spécifiant que les extrémités.

Les éléments géométriques possèdent, outre un identifiant global unique éventuel, un attribut *srsName* contenant le nom du système de coordonnées de référence utilisé. En effet, le langage GML ne spécifie pas de système de référence par défaut. Il faut donc le spécifier au moyen de cet attribut. Sa valeur doit être une URI pointant vers la définition d'un système de coordonnées de référence. Dans les collections géométriques, seul l'élément parent doit être doté d'un tel attribut.

L'exemple ci-dessous (Script 8) illustre l'utilisation des éléments *<coordinates>* et *<pos>* pour spécifier les coordonnées d'un point. L'attribut *srsName* fait référence au système de référence EPSG:4171 qui correspond au réseau géodésique français 1993 (RGF93) avec des coordonnées sous forme de (latitude, longitude) exprimées en degrés, le méridien de Greenwich étant le méridien de référence.

```
<Point gid="P1" srsName="http://www.opengis.net/gml/srs/epsg.xml#4171">
```

```

<gml:coordinates>13.37, 71.16</gml:coordinates>
</gml:Point>

<Point gid="P2" srsName="http://www.opengis.net/gml/srs/epsg.xml#4171">
<gml:pos>52.1 43.84</gml:pos>
</gml:Point>

```

Script 8. Exemple de définition de géométries avec GML.

Nous pouvons également évoquer la topologie spatiale dans GML. Celle-ci est basée sur la description des liens de connexion entre les primitives (*Node*, *Edge*, *Face*, and *TopoSolid*). Contrairement à ce que nous venons de voir pour la géométrie, la topologie n'utilise pas de coordonnées. Cependant, les primitives de la topologie GML peuvent avoir une représentation géométrique (avec respectivement *Point*, *Curve*, *Surface*, and *Solid*) en utilisant les objets et propriétés GML *TopologyPrimitive/property/GeometricPrimitive* (OGC, 2006).

Enfin, la temporalité étant une notion répandue dans les SIG et sur laquelle de plus en plus d'intérêts sont portés, il n'est pas étonnant de la voir apparaître dans GML3. Il y a un schéma (temporal.xsd schéma) qui définit les objets GML temporels clés : *TimePeriod* et *TimeInstant*. Suivant les recommandations de la norme ISO 8601

Pour résumer cette partie, nous pouvons retenir que les différents éléments du langage que nous venons de voir reposent sur des schémas applicatifs qui vont composer les modules de GML. La Figure 38 nous montre les relations entre GML et les autres normes ISO dont nous avons parlé plus tôt.

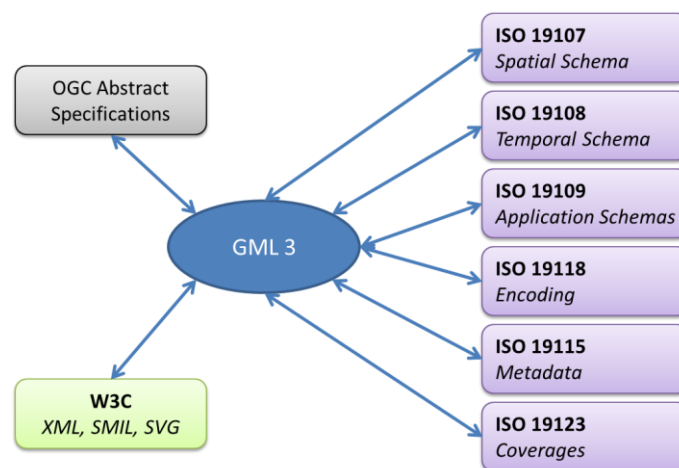


Figure 38. GML et les normes

4.2 Conclusion

Les différentes normes que nous venons d'étudier apportent une réponse partielle à la problématique de l'hétérogénéité rencontrée dans l'objectif de nos travaux. Une fois que l'on a fait le tour des normes intéressantes dans le domaine de la modélisation géographique, il est intéressant de voir la manière dont on peut les utiliser afin de construire une solution la plus respectueuse possible. Pour cela, nous allons utiliser des langages de description des données du bâtiment et de l'information de la ville qui respectent, dans leur domaine, tout ou partie de ces normes : IFC et CityGML.

On peut faire une petite remarque sur le fait que, malgré les efforts effectués pour apporter une normalisation sur les ontologies dans le domaine géographique, il n'y a pas de collaboration directe entre le comité technique ISO/TC 211 et le W3C, alors que ce dernier collabore avec d'autres comités techniques de l'ISO (comme ISO/IEC JTC 1 pour les technologies de l'information par exemple) (Lopez et al., 2011). Par contre, pour nuancer cette