

LA MODELISATION DE LA VILLE : Interopérabilité et intégration des données et modèles urbains : standards, normes et tendances pour les SIG

Emmanuel Devys⁽¹⁾, Gilles Gesquière ⁽²⁾
(1) IGN Saint Mandé, (2)LSIS, UMR CNRS 6168 Aix-Marseille

La convergence des besoins relatifs à la modélisation urbaine entre les besoins utilisateurs d'une part, et ceux de l'ingénierie, de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre, ainsi que du monde de la recherche, est un gage de succès de projets urbains durables et pérennes.

Ce besoin de convergence conduit en particulier à traiter de manière adaptée la problématique d'interopérabilité et d'intégration des données et modèles urbains.

Cet état de l'art a pour objectif de donner un aperçu des standards et normes utilisables pour de tels modèles urbains (2D et 3D), notamment à l'ISO, l'Open Geospatial Consortium (OGC) et au Web3D Consortium, des tendances et initiatives en cours, notamment dans le cadre d'INSPIRE. Il illustrera également l'intérêt et la mise en œuvre d'un standard tel que CityGML pour les diverses thématiques envisagées pour les modèles urbains, et quelques problématiques d'intérêt, comme par exemple l'aspect multi-échelles, la gestion de la sémantique, l'intégration de données terrain et l'imagerie. Un exemple simple extrait de la problématique de la mise à disposition de modèles numériques urbains pour la réalisation de simulation de phénomènes physiques sera ensuite abordé. L'objectif est de montrer que le partage d'un modèle et le fait de s'appuyer sur des échanges standardisés permet de faciliter les interactions entre les modèles physiques, et ainsi de coupler plusieurs modèles entre eux.

Introduction

La complexité de la gestion du territoire, urbain, voire péri-urbain, impose de plus en plus l'usage concerté de données d'origines variées, pouvant être issues de capteurs in-situ, et de méthodes performantes capables de traiter des quantités de données corrélées entre elles, soit géographiquement, soit par des relations d'appartenance.

Les technologies de l'information géospatiales, dont les SIG et les services web pour l'information géospatiales, et les architectures logicielles et réseau répondent bien à ce besoin. Cependant pour appréhender efficacement ces données et trouver rapidement des solutions adaptées, il est essentiel de pouvoir visualiser ces données dans un environnement virtuel fidèle à la réalité¹. Les maquettes numériques sont des outils précieux pour l'appréhension, la modélisation, la simulation et la gestion d'un territoire car elles offrent aux différents acteurs une représentation réaliste et pertinente.

L'utilisation de maquettes virtuelles est aujourd'hui possible grâce aux progrès techniques des médias tels que les ordinateurs ou PDA et de leur capacité à afficher des scènes 3D de plus en plus complexes. L'accès à la donnée est aussi facilité par l'apparition de réseaux aux débits croissants, avec notamment l'émergence du Très Haut Débit. La visualisation de données 3D a donné lieu à la création de villes virtuelles qui apportent un premier niveau d'outil d'aide à la décision concernant par exemple des aménagements urbains.

La mise en œuvre de ces maquettes a amené les communautés concernées à s'intéresser aux modalités d'accès à l'information de manière interopérable et de visualisation ou de fusion des informations pertinentes pour un utilisateur et un besoin particulier. De nombreux projets tel Terra Numerica², projet de système global d'information fondé sur une base de données géographique 3D permettant d'accéder de façon dynamique à l'ensemble des contenus disponibles, ont pour objectif de définir des solutions technologiques ouvertes permettant en dynamique l'acquisition, la consultation, la sélection et la représentation fusionnée des données utiles à l'utilisateur (collectivité, acteur public ou privé ou grand public).

De nombreux acteurs et sociétés se sont intéressés dans ce cadre à la normalisation et à la standardisation de ces technologies d'information géospatiale afin de rendre plus interopérable et efficaces les échanges de

¹ «La 3D est un outil indispensable pour une meilleure communication entre tous les acteurs – municipalité, maîtrise d'œuvre, administrés – car elle donne une perception concrète des lieux et des projets » Alain Noël, Directeur du SIG et des données urbaines de la ville d'Annecy.

² <http://terranumerica.com/>

données 2D/3D ; l'accès dynamique et interopérable aux données est une exigence de tels environnements et un réel atout.

L'utilisation de standards performants doit aussi permettre aux acteurs, aux sociétés et villes commanditaires de partager la maquette virtuelle avec d'autres produits afin de réaliser des simulations de phénomènes physiques comme par exemple la propagation du bruit sur des façades, la modélisation thermique de bâtiments, l'impact du positionnement d'antennes GSM, la simulation d'inondation ou le déplacement d'un nuage toxique en milieu urbain. En effet, là encore, l'utilisation de services et d'échanges standardisés permettrait de faciliter les interactions entre les modèles physiques fournis par des prestataires et la maquette.

Cet état de l'art a pour objectif de présenter les avancées et les apports des technologies, dans le domaine de la standardisation, de l'information géospatiale pertinentes en milieu urbain, pour des données géométriques et sémantiques 2D et 3D ainsi que des données d'imagerie et de capteurs in-situ. Les modèles de simulation faisant appel à des données souvent hétérogènes, cet état de l'art permet de donner quelques pistes de réflexion autour de la recherche de modèles communs de données ou de modèles de référence.

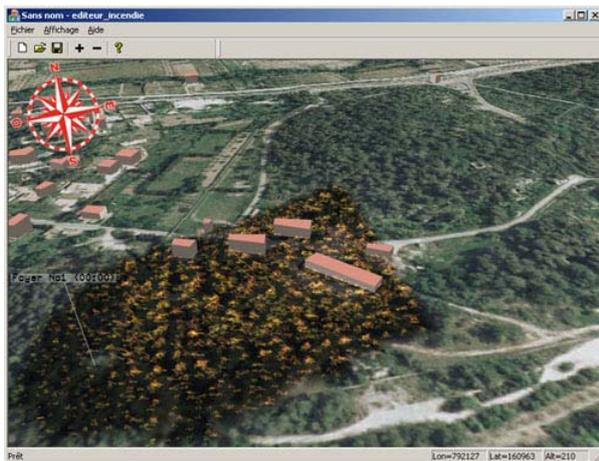
Utilisation de modèles de simulations physiques

L'utilisation des villes virtuelle s'est bornée, pendant des années, à une aide à la décision pour les urbanistes. Des techniques, comme celle utilisant le modèle TRAPU de l'IGN (TRAcé Automatique de Perspectives Urbaines) permettaient de modéliser puis de visualiser ces données [DLL00]. Elle permettait par exemple de prévoir l'impact visuel que pouvait avoir l'implantation d'une nouvelle route (figure 1.a) ou d'une nouvelle ligne de tramway (figure 1.b) dans un ensemble immobilier existant.

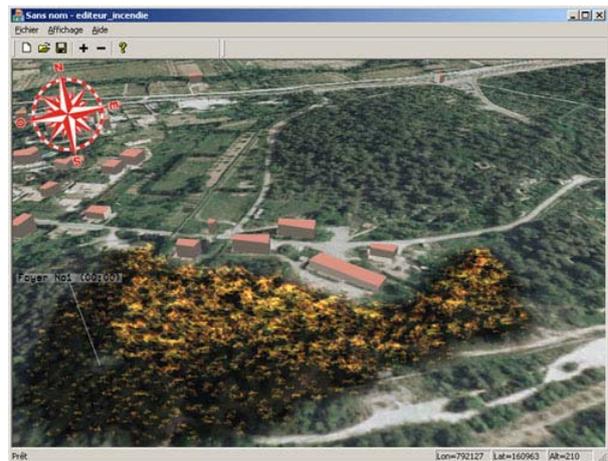


Figure 1 : Etude d'implantation d'infrastructure effectuée avec des maquettes virtuelles (Image appartenant à la société Pixxim)

De nos jours, les villes possédant des maquettes virtuelles se généralisent. Les applications deviennent aussi plus nombreuses ; la ville numérique doit maintenant servir de support à des simulations plus complexes. La visualisation des données en 3D reste un besoin, mais l'enjeu devient plus important. En effet, de nombreux couplages ont vu le jour afin de profiter de ces données. Si nous prenons l'exemple traité dans [TRRG07], les données fournies par l'IGN et la communauté de commune permettent de faire une étude de propagation du feu en zone semi-urbaine. L'objectif est ici de sensibiliser les propriétaires au débroussaillage (figure 2). Dans ce type de simulation, les données employées sont déjà nombreuses. Les données de bases, fournies par l'IGN dans le cadre de l'accord avec le CRIGE-PACA sont un modèle numérique de terrain, des orthophotos, la BD TOPO et la BD CARTO. Des données plus spécialisées comme la base de données IFN pour la « brulabilité » des sols, une carte de vent, ainsi que l'humidité au sol permettent de compléter ces données. La plupart de ces données sont bidimensionnelles.



2.a : Sans débroussaillage



2.b : Avec débroussaillage

Figure 2 : Etude de la propagation du feu dans le cadre d'un outil d'aide à la sensibilisation pour le débroussaillage. Temps simulé = 30 min, Vent = 3m/s, Combustible = « Chaparral » Extrait de [TRRG07]

L'utilisation de données issues du domaine de la construction peut aussi permettre de faire des simulations similaires à des échelles différentes. Il est ainsi possible de simuler l'intervention de la sécurité civile à l'intérieur d'un bâtiment dans le cadre d'un « serious game » (figure 3). Les données employées sont alors des plans de bâtiments (3D) et des cartes de mise à feu et de propagation possible du feu.

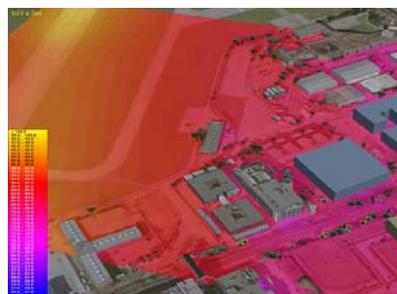


Figure 3 : Simulation d'intervention au sein d'un bâtiment (extrait de [GR05])

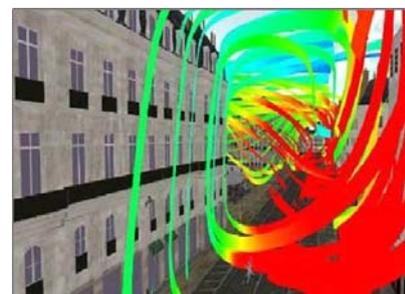
Néanmoins, les simulations deviennent de plus en plus complexes, induisant le besoin de coupler des modèles entre eux. C'est par exemple le cas dans la simulation présentée en figure 4. La ville virtuelle sert alors de support à des modèles de simulation du trafic routier, de propagation de la pollution et du bruit lié à ce trafic.



4.a modèle de simulation du trafic routier



4.b Modèle de simulation des nuisances sonores



4.c Modèle représentant la qualité de l'air

Figure 4 : Utilisation couplée de plusieurs modèles de simulation. Extrait du projet Terra Magna3

³ Projet R&D de SIG3D pour les applications urbaines, cf. www.terramagna.org

En synthèse, des données, souvent hétérogènes doivent cohabiter au sein d'une même infrastructure de données spatiales (SDI). Comme le montre la figure 5, ces données sont elles-mêmes en relation avec des entrepôts de données dont elles sont issues. Elles sont entre autres utilisées pour la visualisation 2D/3D ou afin d'alimenter des modèles. Ces derniers fournissent eux-mêmes des données géoréférencées ou non. La remontée d'informations issues de capteurs sur le terrain peut aussi générer des informations à utiliser. L'échange de ces données nécessite alors la mise en place d'interfaces entre les différents composants.

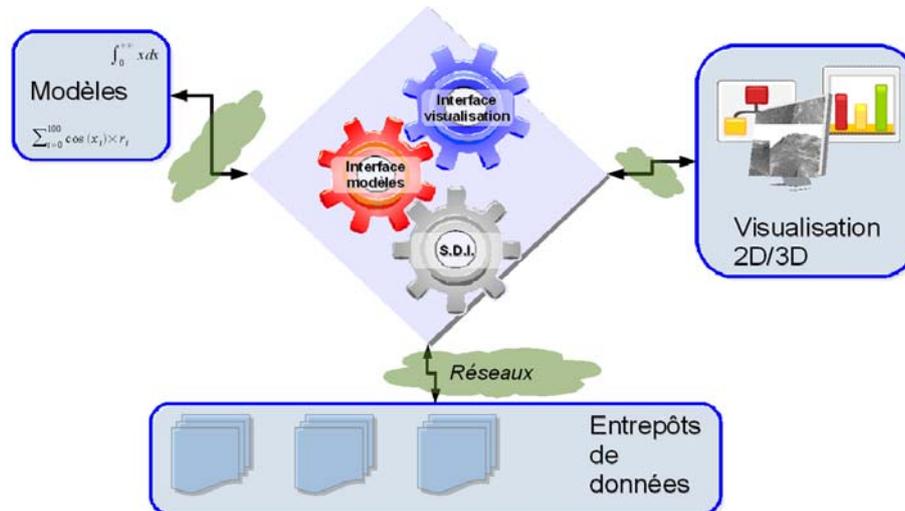


Figure 5 : Infrastructure de donnée simplifiée permettant l'échange de données entre des modèles de simulation, une visualisation et des entrepôts de données.

Villes virtuelles et Modèles – Comment échanger les données

Les villes virtuelles se retrouvent à l'interface de plusieurs mondes qui étaient autrefois complètement séparés. Dans une ville, à grande échelle, les données étaient gérées par une banque de données urbaines. Des SIG étaient alors utilisés. Ces données comprenaient les cartes, les modèles de terrains et les modèles de bâtiments. La gestion des bâtiments était dans un premier temps assurée par des architectes qui utilisaient des logiciels souvent issus de la CAO comme les suites Autodesk ou Bentley. Les données CAO comprennent des modèles détaillés de bâtiments et des modèles liés à l'environnement (mobiliers urbains,...). La gestion du bâtiment et de son environnement a beaucoup évolué ces dernières années donnant lieu à la mise en place d'une description du bâtiment et de son environnement, donnant naissance aux BIM⁴. Les données BIM contiennent des informations sur la structure, l'utilisation et l'équipement de bâtiments ainsi que la modélisation de leur intérieur.

Ces types de sources de données ne sont pas interopérables en soi en raison de l'évolution historique du domaine des applications, des systèmes et des formats, ce qui pose de nombreux problèmes d'intégration et nécessite des modifications manuelles de données. De plus, ces données véhiculent aussi des informations sémantiques qu'il faut sauvegarder et faire cohabiter au sein d'un même environnement. Dans le cadre de plateformes mettant à disposition des modèles numériques urbains voulus dans de nombreux projets, comme par exemple Terra Magna, l'intégration de différentes sources de données et de leur sémantique liée dans le système est un enjeu important. Des capacités d'intégration de données multi-sources de natures et de formats différents sont nécessaires.

L'échange de données 2D/3D, également appelé transfert de données 2D/3D, est un domaine de l'informatique englobant les techniques et méthodes logicielles permettant d'échanger au mieux un modèle 2D/3D entre différents systèmes informatiques ou logiciels. Tout l'enjeu de ce domaine repose sur l'échange correct de différents types d'information constituant un modèle 2D/3D, en particulier de l'information géométrique (données de type facettes, surfaces de révolution, surfaces de forme libre, modèles numériques de terrains, ...), de l'information sémantique (associées aux entités géométriques), mais également de l'information topologique (relations de voisinage associées aux données 2D/3D). Si la traduction de l'information géométrique est primordiale dans l'échange de données 2D/3D, il est important de noter que dans un contexte applicatif donné, l'information géométrique devient très souvent inutilisable si les informations sémantiques et topologiques qui lui sont initialement associées ne sont pas ou mal transférées.

⁴ BIM : Building Information Modeling, http://en.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling

A ce jour, le monde de l'échange de données 2D/3D repose en grande partie sur la notion de format, qui peut être défini comme une convention permettant de représenter des données et jouant le rôle d'interface entre les données et le logiciel. Lorsque ces données sont stockées dans un fichier, on parle de format de fichier. Dans les domaines des SIG et de la CAO, comme évoqué dans le paragraphe précédent, de nombreux consortiums et organismes nationaux/ internationaux ([Tho09]) vont dans le sens d'une standardisation des données et des processus de conception. Néanmoins, une relation biunivoque entre chaque couple de formats n'est malheureusement pas toujours possible, notamment car certaines entités (par exemple géométriques) ne sont supportées que par certains formats. Ce fait, qui entretient le domaine de l'échange, est notamment dû à l'évolution rapide des SIG et des systèmes de CAO ainsi qu'aux procédés de fabrications précieusement gardés par de nombreux acteurs privés au sein de formats dits « natifs ». L'échange de données est par conséquent un domaine qui génère de nombreuses études et communications scientifiques notamment dans le domaine de la CAO (e.g. [Ver91, PAR05, KH08, KPIS08, Sri08]).

Le transfert de données implique parfois la perte d'informations liées aux données. L'hétérogénéité des données mène à la mise en place de schémas harmonisés permettant la mise en correspondance des données. Le paragraphe suivant est consacré à cet aspect.

Rendre les données interopérables

L'interopérabilité peut être définie comme la capacité que possède un produit ou un système donné à pouvoir fonctionner pleinement avec d'autres produits ou systèmes existants [ZD10]. Compte tenu du fait que les produits ou systèmes sont conçus par des constructeurs différents et qu'ils répondent généralement à des besoins spécifiques, l'idée la plus simple pour obtenir l'interopérabilité consiste à définir une base explicite de dialogue, typiquement une norme⁵ ou un ensemble de normes, que chaque produit ou système se devra de respecter pour assurer son interopérabilité.

La norme joue un double rôle dans la réalisation de l'interopérabilité [Tho09]. Elle est tout d'abord un indicateur de la façon dont le dialogue entre les différents acteurs doit s'opérer et structure par conséquent les besoins de ce dialogue. Elle est également une passerelle de communication, qui va pouvoir éventuellement s'adapter aux besoins changeants des éléments. La norme est la base de conception des interfaces d'un produit ou système.

Dans le domaine des technologies de l'information géospatiale et en CAO, ainsi que dans les domaines connexes tels que la visualisation de données et leurs applications sur Internet, de nombreux organismes (organismes de normalisation nationaux et internationaux, consortiums, groupes) œuvrent dans le sens de l'interopérabilité des systèmes ([Tho09]). C'est le cas de l'OGC⁶ ou de l'ISO TC/211 orientés vers la création de standards pour l'information géospatiale, de l'Open Design Alliance visant à l'interopérabilité des données CAO par l'intermédiaire d'API libres⁷, du consortium Web3D œuvrant pour la standardisation des données 3D circulant sur Internet, ou du groupe Khronos visant à proposer un ensemble de standards dédiés à la création et à l'accélération de calculs parallèles et d'applications graphiques. Dans le domaine de l'information géographique et spatiale, nous retrouvons aussi au niveau national l'AFNOR⁸ et le CEN⁹ TC 287 au niveau européen.

L'objectif est donc de capitaliser cette information géospatiale en s'appuyant sur des standards¹⁰ et des normes permettant l'exploitation conjointe et concertée et le possible croisement de ces données. Les plateformes deviennent ainsi par nature interopérables, ce qui est une demande toujours croissante de la part des clients et utilisateurs souvent confrontés à ce genre de problématique au sein d'intercommunalités par exemple.

Normes de base pour la modélisation et l'encodage de l'information géospatiale

Les travaux du comité technique TC 211 de l'ISO ont amené à une série de normes de la série 191xx (allant aujourd'hui de 19101 à 19160). Nous pouvons citer par exemples quelques normes utilisables dans l'objectif d'échanger de la donnée entre modèles :

- ISO/TS 19103 définissant l'utilisation d'UML (Unified Modeling Language) pour les spécifications relatives à l'information géographique ;
- ISO 19107 définissant un modèle géométrique et topologique, 2D et 3D ;

⁵ Définition d'une technologie ou d'un procédé formalisé par un organisme habilité

⁶ Open Geospatial Consortium

⁷ Application Programming Interface

⁸ Association Française de NORmalisation

⁹ Comité Européen de Normalisation

¹⁰ Un standard est un référentiel publié par une entité privée autre qu'un organisme de normalisation national ou international ou non approuvé par un de ces organismes pour un usage national ou international.

- ISO 19108 définissant un modèle temporel ;
- ISO 19109 spécifiant les règles applicables aux schémas d'application ;
- ISO 19123 définissant un modèle conceptuel harmonisé 2D ou multidimensionnel et spatiotemporel pour l'information d'imagerie (couverture ou « coverage ») ;
- ISO 19125-1, définissant un profil de la norme ISO 19107, c'est à dire les classes géométriques / topologiques (accompagnées de leurs attributs et opérations) pour la représentation d'objets géographiques simples (à savoir limité à la géométrie des objets en 2D et à une interpolation uniquement linéaire entre points).

L'ISO/TC 211 a également publié une norme centrée sur les aspects d'implémentation de l'information géospatiale 2D et 3D, issue de l'OGC : ISO 19136, correspondant au standard de l'OGC GML 3.2.1 de l'OGC, pour l'information géospatiale 2D et 3D. Ce format particulier est un socle commun permettant l'échange de données géospatiales. Celui-ci est basé sur un formalisme XML dérivé de certains modèles conceptuels définis dans les autres normes de l'ISO/TC 211 selon des règles de constructions spécifiées.

Les communautés d'utilisateurs peuvent exploiter ce référentiel normatif pour développer des schémas d'application conformes aux règles et réutiliser les composants définis dans les normes abstraites. Un codage « XML Schema » suivant la grammaire GML peut ensuite être dérivé du schéma d'application et servir de base pour l'échange de données.

Normes et standards de modélisation et d'encodage de l'information géospatiale

De nombreux formats normalisent les données tridimensionnelles. Citons par exemple les formats issus de la CAO (STEP ISO 10303, IGES), ou pour les bâtiments la norme IFC (ISO/PAS 16739). L'utilisation de ces standards et normes apporte des solutions à des problèmes d'échange de données [GRFBK09] dans le cadre des SIG [FRD10], dans le domaine du bâtiment [GR05], et / ou de la CAO [BSGLP10]. Ils permettent de faire cohabiter des codes de calculs ou modèles physiques [DDGP10]. Nous retrouvons usuellement dans tous les domaines cités ci-dessus des conversions systématiques nécessaires, ainsi que le besoin de fonctionnalités d'interrogation ou la mise en place d'opérations (calcul d'intersection, d'union, de définition des propriétés surfacique ou volumique d'un objet, ou d'un ensemble complexe d'objets). Ces opérations sont nécessaires afin de produire des informations demandées par les modèles. Nous pouvons par exemple penser à l'intersection des limites d'un feu avec le réseau routier afin d'identifier les routes potentiellement dangereuses.

Des travaux similaires ont été menés afin de rendre les maquettes numériques de bâtiments interoperables au sein de l'International Alliance for Interoperability¹¹. Des spécifications destinées à faciliter l'échange et le partage d'informations entre logiciels ont été mises en place. Le principal résultat des travaux de l'Alliance est un langage qui rassemble aujourd'hui plus de 600 classes d'objets et a pour nom IFC (Industry Foundation Classes). Les IFC permettent aujourd'hui d'échanger des données de la conception du bâtiment, en allant de sa construction jusqu'à sa gestion technique [CN06a], [CN06b]. Cette norme continue à évoluer pour prendre aujourd'hui en compte l'extérieur de bâtiments et les échanges de données liées à ce bâtiment tout au long de son cycle de vie.

De plus, la rencontre du monde du SIG et de celui de la gestion technique du patrimoine a donné naissance à un standard proposé par l'OGC depuis 2008 pour le stockage, l'échange et la représentation des données liées aux modèles de villes. Il s'agit de CityGML [KG05]. CityGML¹² est défini comme un schéma d'application de GML3. Avec ce langage, il est possible de modéliser des données 2D à 3D de type vectoriel en utilisant une sémantique associée à ces données. Nous pouvons parler d'une interoperabilité au niveau syntaxique car le langage est basé sur GML ; il est donc possible d'interagir avec des services comme WFS (Web Feature Service ou Service d'accès aux entités géographiques par le web). Nous obtenons aussi une interoperabilité sémantique parce que le langage est basé sur une définition commune des objets, de leurs attributs et les relations qu'il y a entre eux.

Les caractéristiques clés de CityGML sont :

1. Modélisation thématique : le modèle couvre une large gamme d'objets urbains, y compris (mais non limité à) les bâtiments, les réseaux de transport, l'hydrographie, la végétation, le relief du terrain, l'occupation des sols, le mobilier urbain...
2. Modularité du modèle : chaque modèle thématique est packagé dans un module UML séparé.
3. La gestion du multi-échelle (de la région au bâtiment) avec le concept de LOD (« Level of Detail » ou Niveau de détail) permettant d'exprimer la résolution ou granularité avec laquelle un modèle 3D est représenté. Le même objet peut être représenté avec une géométrie différente à chaque niveau.

¹¹ <http://buildingsmart.org.au/>

¹² <http://www.citygmlwiki.org>

CityGML fournit aussi deux associations d'accumulation et de décomposition entre les objets qui peuvent être utilisés pour indiquer qu'un objet de LOD de niveau inférieur a été décomposé dans deux (ou plus) objets à LOD plus élevé. Les modèles applicatifs ou de simulation peuvent exploiter les données au LOD le plus approprié. CityGML spécifie cinq niveaux :

- LOD0 : régional, représentation du terrain : une orthoimage ou une carte peut être drapée sur un modèle numérique de terrain, avec des données de niveau régional d'occupation des sols, d'hydrographie et de réseaux de transport.
 - LOD1 : vue urbaine. Les bâtiments sont modélisés sous forme de bloc à toits plats.
 - LOD2 : quartier, projets. Les bâtiments sont modélisés avec leur structure de toit, et des surfaces délimitatives sémantiquement classifiées. Des objets de végétation, de mobilier urbain et de réseau de transport plus détaillés peuvent également être modélisés.
 - LOD3 : modèle architectural (extérieur) et infrastructures ou objets urbains. Les structures détaillées des façades et des toits, p.e balcons, fenêtres sont modélisées, ainsi que les textures « haute résolution », les objets de végétation, de mobilier urbain et de réseau de transport détaillés.
 - LOD4 : modèle architectural (intérieur). Ce niveau a été conçu en cohérence avec le modèle IFC pour décrire la géométrie intérieure d'un bâtiment, ainsi que les portes, escaliers ...
4. Références externes: les objets de bases de données externes peuvent être référencés à partir du bâtiment ou de l'objet urbain auquel ils correspondent. Ils peuvent être utilisés pour propager des mises à jour de la base de données source à l'objet urbain 3D. Ils aident également à relier les modèles d'information différents. Un bâtiment peut par exemple être lié à un objet d'une base de données cadastrale.
5. Capacité d'extension « orientée métier » grâce aux extensions ADE (Application Domain Extensions) de CityGML. Des extensions ADE pour des modèles de bruit, la représentation de ponts, tunnels, hydro et réseaux (Utility Network), ainsi qu'une extension GeoBIM (basée sur les IFC) sont disponibles ou en cours de développement.

D'autres extensions dédiées aux différentes problématiques sont envisageables et permettraient d'enrichir le modèle urbain socle en utilisant des informations nécessaires aux simulations.

La modularité de CityGML, sa structure thématique, ses capacités de référencement externes et d'extensibilité permettent le support de modèles urbains enrichis intégrant des données provenant de diverses sources en permettant des liens avec les autres domaines d'application.

Normes et standards orientés visualisation pour l'information géospatiale

L'échange de données 2D/3D sur Internet est un enjeu majeur qui a amené à la mise en place de nombreuses normes et standards. Nous en citons ici quelques unes pour exemple sans toutefois être exhaustifs. Il faut toutefois noter que la plupart de ces formats permettent une représentation de la géométrie, de la texture et de son environnement (lumière, caméra, ...), mais sans prendre en compte la sémantique liée.

- La première norme, nommée VRML¹³ a permis l'échange de modèles 3D de scènes pendant plusieurs décennies. C'est un format texte permettant de décrire géométriquement des objets 3D et de leur associer une texture. Le format ne permet pas nativement le stockage de la sémantique. VRML a été adopté par l'ISO en tant que norme ISO 14772. Une extension géographique à ce format a été développée (GeoVRML).
- Le Web3D Consortium ne maintient plus la spécification VRML mais a défini une nouvelle spécification basée sur XML, X3D, compatible avec VRML. X3D a une structure plus modulaire que VRML ; quatre profils de complexité croissante ont ainsi été définis : profil de base Echange (Interchange), profil Interaction (Interactive), Immersion (Immersive), Total (Full). X3D est également normalisée au sein de l'ISO/IEC JTC1 SC24 (Computer Graphics and Image Processing). Il s'agit des normes suivantes : ISO 19775 (architecture et capacités abstraites), ISO 19776 (encodages en VRML et XML), ISO 19777 (API).
- COLLADA est un format d'échange XML permettant d'encoder des objets 2D et 3D, texturés et éventuellement animés, développé par le Khronos Group¹⁴. Il ne permet qu'un encodage limité de la sémantique. Certaines applications, comme Google Earth, en ont fait leur format interne.

¹³ Virtual Reality Markup Language

¹⁴ <http://www.khronos.org/collada/>

- U3D (Universal 3D) est un format de fichier 3D standardisé par Ecma International en juin 2006 sous la référence Ecma-363¹⁵. Son but est de devenir un standard universel pour la publication et l'échange de données 3D. Il est supporté notamment par Adobe et Bentley (Microstation).
- Enfin Keyhole Markup Language (KML) est un format de fichier développé par Google suivant une grammaire XML permettant d'encoder les données géographiques ainsi que leur représentation, afin de les visualiser. La version 2.2 de KML est devenue un Standard OGC. Elle a été popularisée par le globe virtuel de Google. Des objets 3D modélisés dans leur propre espace de coordonnées sous forme de fichiers COLLADA peuvent y être référencés.

Le tableau ci-dessous synthétise les capacités des standards et divers normes de modélisation et de visualisation mentionnés ci-dessus. On distingue les formats orientés affichage graphique 3D favorisant l'échange de la géométrie comme X3D, U3D, KML et Collada (avec capacité sémantique inexistante ou faible) et les formats comme IFC et CityGML répondant à l'ensemble des besoins pour la modélisation, l'organisation et l'échange de données urbaines et de la sémantique liée.

La légende du tableau est la suivante : (vide : non supporté, 0 : support de niveau basique, + : support nominal (sophistiqué), ++ : support exhaustif).

Standard	X3D	U3D	KML	COLLADA	IFC	CityGML
Capacité						
Géométrie	+	+	0	+	++	+
Topologie	0	0		0	+	+
Sémantique	0			0 à +	++	++
Géoréférencement	+		+		(IFG) +	++
Apparence (textures)	+	+	0	++	0	+
Linking / embedding (gestion de donnée intégrée ou liée (référéncée))	+		++	++		++

Tableau 1 : Comparaison des standards de modélisation et de représentation 3D

Normes et standards de services d'accès à l'information géospatiale

Pour l'accès aux données, l'ISO/TC 211 a publié des normes orientées implémentation, issues de l'OGC. Le respect de ces normes peut par exemple permettre à un utilisateur d'accéder à des données émanant de nombreux entrepôts de données, rendant ainsi le partage d'informations plus aisé. Ces protocoles se sont révélés d'une grande utilité dans le cadre de l'aide à la gestion de crise comme celle en Haïti. Deux de ces normes sont aujourd'hui très utilisées. Dans le cadre de l'accès aux données raster/ image, ISO 19128 ou OGC WMS (Web Map Service) permet de définir un service d'accès cartographique. L'accès aux données géographiques (2D/3D) sous formes d'objets fournis encodés en GML peut se faire grâce à ISO 1942 correspondant à OGC WFS 2.0 (Web Feature Service).

Autres normes pertinentes pour la modélisation urbaine

L'ISO/TC 211 a également commencé à normaliser différents aspects thématiques de l'information géospatiale. Plusieurs schémas conceptuels normalisés ont été définis, conformément à la norme ISO 19109. Les normes suivantes sont pertinentes pour la modélisation urbaine :

- ISO 19144-2 Systèmes de classification - Land Cover Meta Language (LCML) définit un métalangage pour les classifications d'occupation du sol. Ces données peuvent être utilisées pour distinguer les zones bâties / non bâties ;
- ISO 19152 – Land Administration Domain Model (LADM) est un schéma conceptuel standardisé pour les données cadastre.

L'ISO / TC 204 a élaboré la norme ISO 14825 - Fichiers de données géographiques (GDF) définissant un modèle conceptuel de données et un format d'échange pour les applications de transport

¹⁵ <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-363.htm>

Pour terminer l'aperçu des langages de modélisation ou d'encodage de données géospatiales pouvant avoir un intérêt en milieu urbain, nous mentionnerons également GeoSciML ou GeoScience Markup Language, schéma d'application GML pour encoder, manipuler et échanger des données géographiques qui contiennent des informations géologiques.

Vers des infrastructures interopérables de modélisation et de simulation pour l'environnement urbain

Outre la mise à disposition de fonctions liées à la modélisation, l'import ou l'utilisation de données 2D/3D normalisées et de leur sémantique, une réflexion sur l'infrastructure de Données Spatiales (Spatial Data Infrastructure ou SDI) doit être menée. Elle doit permettre d'offrir la possibilité de caractériser et d'exploiter des phénomènes, se manifestant par des observations issues de capteurs, grâce à des services standardisés d'accès aux données de capteurs en réseau (tels que le service SOS – Sensor Observation Service – issu de la communauté SWE (Sensor Web Enablement) de l'OGC) et des fonctions d'analyse spatiale couplées à des modèles mathématiques, porteurs d'une expertise scientifique et métier. Les modèles de scénarios s'appuient alors sur ce SDI afin de permettre un couplage faible entre ces modèles de simulation et les données. Le couplage est libellé comme faible puisque les interfaces entre ces modèles et les données sont standardisées, le rendant plus aisé.

Le concept de plateforme que l'on retrouve dans le domaine des SIG sous ce nom d'Infrastructure de Données Spatiales est constitué de l'ensemble des technologies, normes et protocoles nécessaires à une harmonisation des bases de données géospatiales existantes. L'objectif premier de ce dispositif, est de traiter, sauvegarder, cataloguer, distribuer et améliorer l'exploitation de l'information géographique, en mettant en œuvre les dispositifs les plus transparents possibles pour l'utilisateur (notamment au moyen de services de consultation, accès, visualisation et représentation des données, mais aussi service de traitements).

Concernant l'utilisation d'un modèle urbain pour la mise en place d'aide à la gestion de risques, un premier prototype international, montrant la faisabilité a été créé par l'OGC dans le cadre de tests de faisabilité « OWS » phase 4 [OWS4]. Des liaisons dynamiques (via WFS) ont été mises en place afin de permettre l'utilisation de données issues de CityGML [C08], [HD07], [DH07]. Même si les protocoles d'échanges sont maintenant normalisés, il reste encore des problèmes à traiter dans les domaines relatifs aux transferts et la compression des données [HPG08], [GB09]. Ces résultats, axés sur la possibilité d'envoyer des requêtes à différents niveaux de détail et de recevoir des résultats de façon progressive permettront là encore à la plateforme de fournir différents résultats en fonction des données nécessaires aux modèles de simulation.

La vision de l'OGC est de proposer un ensemble de services Web :

- découverte des données accessibles à travers un service tel que CS-W permettant les requêtes aux catalogues de métadonnées,
- requête et accès (téléchargement) à des données 3D (BIM / IFC et CityGML), 2D (SIG 2D traditionnels), d'imagerie ou de représentation du terrain (Modèles Numériques de Terrain) – ces dernières étant typées comme 2D1/2 – à travers des services WFS (données SIG2D et 3D), WCS (Web Coverage Service),
- accès à des données issues de capteurs in-situ à travers un service tel que SOS,
- services de traitement des données, encapsulés par le protocole WPS (Web Processing Service),
- visualisation WMS (données cartographiques), limitée à une visualisation 2D,
- services performants (en flux) de représentation / visualisation intégrée de l'ensemble des informations sélectionnées au travers de services orientés représentation graphique (spécification émergente candidate W3DS¹⁶ pouvant fournir des données X3D ou COLLADA / KML) ou simple visualisation (sous forme image) (spécification émergente candidate WVS¹⁷),

Ce dernier type de services apparaît nécessaire car CityGML n'est pas à ce jour un standard offrant des performances de représentation et de visualisation de niveau « temps réel ou même interactif ».

La figure suivante illustre la vision d'une infrastructure de services OGC de découverte, fusion, représentation et visualisation de données SIG 2D/3D, imagerie et capteurs in-situ, dans laquelle peuvent s'inscrire des données GeoBIM ; ceci à condition d'intégrer les interfaces de métadonnées, d'accès aux données et de visualisation. Une expérimentation est envisagée à l'OGC en 2011.

Cette infrastructure peut servir de support pour l'intégration et la mise en œuvre de modèles urbains intégrant des modélisations de phénomènes physiques. Toutefois les web services OGC n'ont pas à ce jour la capacité à traiter des données IFC (d'où le point d'interrogation sur la figure entre les données BIM / IFC et la boîte de services d'accès).

¹⁶ Web 3D Service : service de représentation 3D (fournissant des flux X3D ou KML)

¹⁷ Web View Service : service de visualisation 3D (fournissant des flux raster PNG, JPG ...)

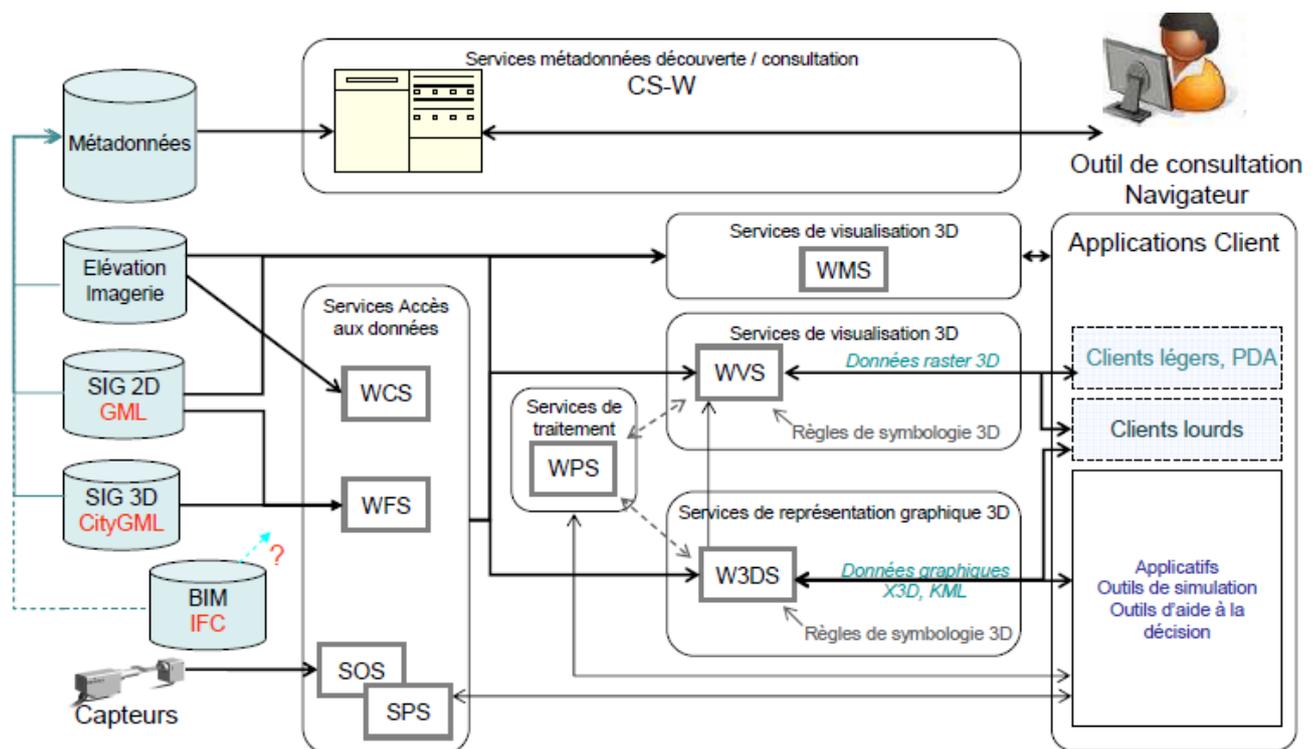


Figure 7 : Infrastructure OGC de services de découverte, fusion, représentation et visualisation de données SIG 2D/3D, (Geo)BIM, imagerie et capteurs in-situ

L'exploitation d'une telle infrastructure combinée à des modèles géophysiques et des modèles de simulation apparaît comme une solution technologique interopérable pour la modélisation urbaine et l'exploitation concertée des solutions scientifiques et techniques, notamment pour les outils d'aide à la décision pour la gestion environnementale de la ville durable, la sécurité civile et la gestion des risques naturels ou industriels, par exemple hydrologiques. Il est en effet possible d'agglomérer des données issues de milieux différents comme par exemple des représentations d'intérieur de bâtiments (IFC), de villes (CityGML) ou des relevés de capteurs. La mise en place de protocoles de communications permet d'accéder à ces données afin de les utiliser dans l'objectif de faire des calculs ou de les visualiser. Le modèle de simulation pourra, grâce à ces standards communiquer avec ces données, les mettre à jour ou créer de nouvelles données. Préalablement à la visualisation qui pourra se faire sur des médias de différentes capacités, il sera possible de décliner une même donnée en fonction de son utilisation (portrayal ou représentation de la donnée). S'il est par exemple nécessaire de représenter un pylône, il sera possible d'utiliser un point, un point lié à un label (étiquette définissant ce qu'est l'objet), ou même directement un objet 3D.

INSPIRE et les données urbaines

La Directive INSPIRE a pour but d'établir les bases légales de l'Infrastructure de Données Géographiques Européenne, à des fins de politiques environnementales ou de politiques ayant un impact sur l'environnement. Cette Directive vise à rendre accessibles et interopérables les données géographiques existantes, en format numérique, relatives au territoire d'un Etat Membre de la Communauté Européenne, détenues par une autorité publique et relatives à l'un des 34 thèmes définis par la dite Directive.

Ces 34 thèmes incluent des données de référence, comme des données topographiques (transport, hydrographie, bâtiments, MNT), des données administratives (unités administratives, unités statistiques, parcelles cadastrales, adresses), des données d'ortho-image ainsi que des données plus thématiques (géologie, usage et occupation du sol, conditions atmosphériques, zones de risques naturels, ...).

Afin d'assurer l'interopérabilité syntaxique des données au sein de chaque thème et entre thèmes, un cadre commun de modélisation a d'abord été mis en place. Ce cadre commun comprend en particulier un Modèle Conceptuel Générique, basé en grande partie sur l'utilisation des normes définies par l'ISO/TC 211. Par exemple, les spécifications des thèmes INSPIRE sont décrites selon la norme ISO 19131 (spécification de produit de données), les schémas de données sont conçus selon le modèle « General Feature Model » de l'ISO 19109 et sont représentés en UML (ISO 19103), l'encodage recommandé est GML 3.2.1 (ISO 19136).

De plus, pour chacun des thèmes de la directive, l'interopérabilité sémantique est assurée par un schéma commun de données, basé à la fois sur l'analyse de l'existant, sur les besoins des utilisateurs, dans les domaines liés à l'environnement et sur les normes, standards et exemples de bonne pratique.

Le thème « bâtiment » est celui lié le plus directement à la modélisation de la ville. Le groupe de travail en charge de ce thème a identifié les principaux besoins utilisateurs liés essentiellement aux domaines du risque, de l'expansion urbaine, de la qualité de l'habitat dont les aspects énergétiques, des diverses pollutions (air, bruit, ...) et des projets de nouveaux aménagements.

Les conclusions provisoires de ce groupe de travail sont que, d'une part, des données 2D accompagnées d'un attribut de hauteur sont largement disponibles et satisfont (parfois de façon seulement approximative, il est vrai) un grand nombre d'applications mais que, d'autre part, la tendance est vers une production et une utilisation croissantes de données 3D. En particulier, il y a une volonté d'aller vers des infrastructures 3D réutilisables et partageables, pour la gestion au long cours de la ville en lieu et place des maquettes 3D, plus ou moins jetables, destinées à un seul projet. Ces besoins nécessitent le plus souvent des données 2D et 3D multi-échelles.

CityGML, standard OGC de modélisation urbaine basé sur les normes de l'ISO TC 211 est le candidat naturel pour la modélisation des données 3D au sein du thème Bâtiment d'INSPIRE.

Le groupe de travail pour le thème « bâtiment » envisage la définition de deux profils normatifs :

- un profil de base 2D
- un profil 3D basé sur CityGML (au niveau LOD1)

Ces deux profils doivent être cohérents : les concepts généraux de CityGML sont utilisés dans les deux profils 2D et 3D (p.e. distinction entre bâtiment et partie de bâtiment ou utilisation du mécanisme de référence externe).

Conclusion

La construction de villes virtuelles nous amène à être à l'interface de plusieurs mondes (CAO, SIG, BIM, imagerie, étude de phénomènes physiques, capteurs, ...). Le partage et l'échange des données 2D et 3D ainsi que leur sémantique liée est un enjeu important. Il est nécessaire de penser à l'intégration de données multi-sources de natures et de formats différents. Afin de stocker ces données, une réflexion sur l'Infrastructure de Données Spatiales (SDI) doit être menée en prenant bien en compte que le volume de données à stocker est très important dans le cadre de villes virtuelles. De plus, le couplage nécessaire de modèles de simulations amène à organiser ces données et à mettre en place des outils d'analyse liés. Il est ainsi possible de transmettre aux modèles de simulation les informations qui leurs sont nécessaires.

Par ailleurs, au niveau de la représentation des données, une approche multi-échelle / multi-résolution sera à privilégier. Il sera ainsi possible de fournir aux modèles de simulations des données de précision opportune en fonction de leur besoin. Il reste néanmoins à construire les outils d'agrégation pertinents. Dans ce cadre, CityGML semble être un excellent candidat permettant la fusion de données terrain 2D et de modèles urbains 3D, ainsi que l'agrégation de modèles métiers. Le couplage de modèles a déjà été démontré à plusieurs reprises¹⁸.

Toutefois, la mise en œuvre opérationnelle de CityGML réclame notamment de disposer de standards performants de représentation / visualisation 3D, pouvant être alimentés en flux par des données CityGML.

L'intérêt d'infrastructures intégrées de services de consultation ainsi que l'accès, la représentation ou la visualisation multi-source de données issues de SIG 2D, 3D, avec données terrain et d'imagerie, données de capteurs in-situ, et données de simulation physique a été abordé dans cet article. Ces échanges sont rendus naturels lorsque l'utilisation de standards et de normes est privilégiée. On a vu dans cet article l'intérêt d'utiliser les normes et standards pour les modèles d'une part, pour les services web d'autre part. En particulier, en fonction des besoins, des services comme WMS, WFS, WCS, SOS pourront être exploités.

Les travaux sur la normalisation pour l'information géospatiale sont coordonnés au niveau français par l'AFNOR (Commission nationale pour l'information géographique et spatiale) ou au niveau international par l'OGC et l'ISO TC/211.

Prendre part à ces travaux amène à participer à l'évolution de ces standards en fonction des demandes des utilisateurs, des laboratoires de recherche, des organismes gouvernementaux et des entreprises. De nombreux standards souvent issus de la recherche émergent actuellement au sein de l'OGC où l'on retrouve plus d'une centaine de laboratoires de recherche aux côtés d'industriels pour répondre aux nouveaux besoins.

¹⁸ <http://www.forumogcfrance.org/spip.php?rubrique48> , voir session «Maquettes numériques urbaines et simulation de phénomènes physiques ; les enjeux de la 3ème dimension »

Remerciements

Les auteurs remercient pour leurs contributions et interventions constructives lors de la révision de ce document Nicolas Paparoditis (directeur du laboratoire MATIS) ainsi que Dominique Laurent (IGN/DT/TN) expert et facilitatrice de l'équipe thématique « Bâtiments » INSPIRE.

Bibliographie

- [BD07] D. Brutzman and L. Daly, **X3D: Extensible 3D Graphics for Web Authors**. Morgan Kaufmann, 2007.
- [BSGLP10] R. Bénéière, G. Subsol, G. Gesquière, F. Lebreton, W. Puech, **Decomposition of a 3D triangular mesh into quadrangulated patches**, **International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 2010)**
- [C08] E. Curtis. **Advances in 3D Geoinformation Systems**, chapter **Serving CityGML via Web Feature Services in the OGC Web Services - Phase 4 Testbed**, pages 331–340. **Lecture Notes in Geoinformation and Cartography**. 2008
- [CN06a] C. CRUZ, C. NICOLLE, **Active3D: Vector of Collaboration, Between Sharing and Data Exchange**, **INFOCOMP, Journal of Computer Science**, 5 (3), pp. 1-8, January 2006
- [CN06b] C. CRUZ, C. NICOLLE, **Use of semantics to manage 3D scenes in web platforms**, **Encyclopedia of Multimedia Technology and Networking 2nd Ed**, Editor: Margherita Pagani, Idea Group Inc, 2009
- [DDGP10] B. Duplex, M. Daniel, G. Gesquière, F. Perdu, **Deformation Exchange between Adjacent Physical Code Geometries**, **WSCG 2011)**
- [DH07] J. Döllner, B. Hagedorn. **Integrating Urban GIS, CAD, and BIM Data By Service-Based Virtual 3D City Models**. **26th Urban Data Management Symposium**, Stuttgart, Germany, Oct. 2007
- [DLL00] A. De La Losa. **Modélisation de la troisième dimension dans les bases de données géographiques**, **Thèse UMLV janvier 2000**
- [FRD10] A. François, R. Raffin, M. Daniel, **3D ISO analysis and modeling for GIS - First steps in the norm implementation**, **International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning (DDSS)**, 2010
- [GB09] J. G. Barros Gavilanes, **Transmission de géométrie 3D pour les Systèmes d'Information Géographique**, **Rapport de Master SIS Recherche**, 2009
- [GC05] V. Geroimenko, C. Chen, **Visualizing Information Using SVG and X3D**. Springer, 2005.
- [GR05] G. Gesquière, R. Raffin, **Utilisation des IFC dans le cadre de l'aide à la décision et de la visualisation 2D/3D temps réel**, **Actes de la conférence Médiacconstruct**, 2005
- [GRFBK09] G. Gesquière, R. Raffin, A. François, G. Bachelot, N. Klein, **Echange de données 3D-perspectives**, **Journées de l'Interopérabilité, OGC-France, IGN Saint Mandé, 02 décembre 2009**
- [HD07] B. Hagedorn, J. Döllner, **High-Level Web Service for 3D Building Information Visualization and Analysis**, **Proceedings of the 15th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS)**, Seattle, Nov. 2007
- [HPG08] K. Hayat, W. Puech, G. Gesquière, **Scalable 3D Terrain Visualization through Reversible JPEG2000-Based Blind Data Hiding**, **IEEE Transactions on Multimedia**, vol. 10, n° 7, pp. 1261-1276, November 2008
- [KG05] T. Kolbe, G. Gröger, L. Plümer, **Citygml – interoperable access to 3d city models**, In **proceedings of the Int. Symposium on Geo-information for Disaster Management**, pages 21–23, Delft, march 2005. Springer verlag
- [KH08] A. Kuzminykh, C. Ho_mann, **On validating STEP product data exchange**, **Computer-Aided Design**, 40(2) :133- 138, 2008.
- [KPIS08] J. Kim, M. J. Pratt, R. G. Lyer, R. D. Sriram, **Standardized data exchange of CAD models with design intent**. **Computer-Aided Design**, 40(7) :760 _ 777, 2008.

- [PAR05] M. J. Pratt, B. D. Anderson, T. Ranger. **Towards the standardized exchange of parameterized feature-based CAD models**, *Computer-Aided Design*, 37(12) :1251- 1265, 2005.
- [OW4] **Ogc web services, phase 4 demo cad / gis / bim**, www.opengeospatial.org/projects/initiatives/ows-4
- [Sri08] V. Srinivasan, **Standardizing the specification, verification, and exchange of product geometry : Research, status and trends**, *Computer-Aided Design*, 40(7) : 738-749, 2008
- [Tho09] J. W. Thomas, **Data-exchange Standards and International Organizations: Adoption and Diffusion**. IGI GLOBAL, 2009
- [TRRG07] S. Thon, R. Raffin, E. Remy, G. Gesquière, **Combining GIS and forest fire simulation in a virtual reality environment for environmental management**, *ACE: Architecture, City and Environment*, Vol. 2 (4), pp. 741-748, jui 2007 ISSN 1886-4805
- [Ver91] J.S.M. Vergeest, **CAD surface data exchange using STEP**, *Computer-Aided Design*, 23(4) :269 _ 281, 1991.
- [ZD10] P. Zhao and L. Di, **Geospatial Web Services : Advances in Information Interoperability**, IGI Global, 2010