

Panorama des potentialités SIG en 3 dimensions : vers des modèles virtuels 3D de villes

■ Robert LAURINI - Sylvie SERVIGNE

MOTS-CLÉS

Systèmes d'information géographique, SIG, 3D, villes virtuelles, CityGML, Google Earth, Virtual Earth.

Depuis de nombreuses années, de nombreux travaux tentent de modéliser la ville en trois dimensions. Ces outils sont aujourd'hui arrivés à maturité et sont disponibles sur le marché. Un panorama des

modèles et technologies sous-jacentes est présenté dans cet article. Après avoir donné une liste d'applications potentielles, les divers concepts de modélisation de ville à trois dimensions sont définis. La norme CityGML est ensuite esquissée. cette norme vise à décrire la totalité des bâtiments et du mobilier urbain d'une ville. Nous terminons cet article par la présentation des projets des sociétés Google (Google Earth) et Microsoft (Virtual Earth) qui ont pour objectif de décrire, avec un haut niveau de réalisme, toutes les villes du monde entier afin de pouvoir naviguer, localiser des services et effectuer des simulations.

Après les SIG à deux dimensions, arrivent maintenant des outils à 3 dimensions non pas pour gérer un objet urbain comme un bâtiment isolé, mais pour la gestion d'un territoire complet. En parallèle avec l'évolution des nouveaux besoins exprimés par les utilisateurs, cette évolution a été rendue possible par l'arrivée de nouvelles technologies. Dès lors plutôt que des SIG à trois dimensions, on préférera l'appellation de modèle virtuel 3D dont un exemple est donné Figure 1. Parmi ces technologies, la photogrammétrie tient une place importante (Kraus et al., 1998).

Alors qu'il s'agit d'une discipline peu connue en France pour diverses raisons, de nombreux pays étrangers possèdent une très grande tradition de recherche en photogrammétrie. Et ce sont les percées technologiques notamment provenant d'Allemagne, d'Autriche et de Suisse qui ont permis de telles avancées.



Figure 1. Modèle virtuel 3D de la ville d'Heidelberg.

N'oublions pas que l'objectif n'est pas tant de montrer des images 3D saisissantes de réalisme d'un bâtiment isolé, mais plutôt de naviguer en trois dimensions dans de telles villes.

L'objet de cet article sera de donner des aperçus sur les potentialités et les tendances dans ce domaine à forte croissance, dans lequel de nombreuses sociétés cherchent à se positionner. Après avoir fait le tour des applications susceptibles d'être traitées par ces nouveaux outils, sera donné un rappel rapide sur la modélisation des objets tridimensionnels. Puis sera esquissée la nouvelle norme CityGML dont l'objectif est un format lisible pour stocker et représenter les villes à trois dimensions. Nous finirons cet article par une présentation sommaire des nouveaux projets des sociétés Google et Microsoft.

Les applications potentielles

Pour une municipalité, disposer d'un modèle générique de l'ensemble de sa ville s'avère outre la navigation tri-dimensionnelle classique comme un atout indispensable pour des applications potentielles comme :

- la simulation des niveaux de bruit à trois dimensions, c'est-à-dire non seulement à la hauteur des oreilles d'un piéton, mais aussi aux divers étages ; cette modélisation peut être étendue à d'autres pollutions comme celle de l'air ;

- la modélisation des inondations et des risques naturels ; dans ce cas, il s'agit de simuler la hauteur du niveau d'eau partout dans la ville y compris les constructions souterraines du type parking souterrain, galerie de métro, tunnel, etc.
- la modélisation des autres risques environnementaux comme les tremblements de terre, et la visualisation de leurs conséquences,
- la comparaison des hauteurs réelles des bâtiments et les hauteurs maximales autorisées par la réglementation ;
- l'impact visuel d'un futur lotissement (Figure 2) ou d'un grand projet d'équipement dans son environnement ;
- la vérification rapide des déclarations d'impôts locaux ;
- l'aide à la définition de la stratégie d'approche pour la sécurité civile ou la lutte contre les incendies dans les villes ;
- etc.

Mais également d'autres acteurs peuvent bénéficier de telles représentations. Sans être exhaustifs, signalons quelques pistes :

- en géomarketing, disposer d'une maquette permettant de tester l'impact visuel d'un panneau publicitaire,
- pour les agents immobiliers, permettre aux acquéreurs potentiels d'avoir une idée claire sur les bâtiments aux alentours du bien qu'ils désirent acheter ou louer,



© P. MULLER (2006).

Figure 2. Exemple de banlieue californienne.



© P. MULLER (2006).

Figure 3. Exemple de reconstitution de la ville de Pompéi.

- pour des touristes, avoir une vue plus précise des monuments et des endroits à visiter,
- pour les opérateurs de téléphonie mobile, trouver les lieux idéaux pour installer les antennes (carte d'intervisibilité),
- pour les installateurs de panneaux solaires, repérer les toitures les plus adaptées,
- pour les pilotes d'hélicoptères, repérer les toitures où il est possible de se poser,
- pour des historiens et des archéologues, visualiser ou mieux modéliser une ville aux siècles/millénaires précédents (Figure 3),
- etc.

Tout ceci est possible grâce aux modèles virtuels de ville dont les données proviennent de plusieurs sources. On mentionnera tout d'abord les lasers aéroportés qui permettent de définir des modèles numériques d'élévation (MNE), c'est-à-dire les distances entre l'avion et les objets terrestres, à la différence de Modèles Numériques de Terrain (MNT) qui modélisent la surface du sol.

Les campagnes de photogrammétrie aérienne permettent de prendre plusieurs vues d'un même lieu. En photogrammétrie verticale, les distorsions géométriques sont éliminées afin d'obtenir une orthophoto ou un orthophotoplan. En revanche en photogrammétrie oblique, on tire profit à la fois de la multiplicité des photos d'un même lieu et des distorsions afin d'obtenir un modèle tridimensionnel. Ainsi, grâce à ces multiples vues, il est possible de repérer les points d'intérêt, de modéliser les bâtiments à trois dimensions et de repérer les textures des toitures et des façades. C'est en quelque sorte comme si on voyait les bâtiments non plus avec deux yeux, mais avec quatre, six, dix yeux.

Modélisation des objets géographiques à 3 dimensions

Il existe différentes façons de modéliser des bâtiments, essentiellement basées sur l'objectif à atteindre. En effet, un bâtiment peut être vu comme un objet de construction ou de gestion ; dans ce cas la norme BIM semble la plus intéressante (cf Döllner-Hagedorn 2007). Dans notre cas, il s'agit surtout de la géométrie du bâtiment. Cependant deux grandes



► pistes s'offrent à nous : s'agit-il de modéliser les espaces de vie (pièces, escaliers, couloirs, etc.) ou bien alors la problématique se situe-t-elle dans les murs (façades, cloisons, planchers/plafonds, etc.). Ces problématiques sont bien connues et intégrées dans les outils de CAO (conception assistée par ordinateur) en bâtiment et architecture ; rappelons que ces outils sont en effet adaptés à la conception d'un bâtiment unique, voire d'un petit ensemble.

En revanche, dans le type d'applications envisagées dans cet article, il est nécessaire de modéliser l'ensemble des bâtiments et mobiliers d'une ville ; en d'autres termes il s'agit de fournir des outils non plus pour modéliser quelques unités de bâtiments, mais des dizaines de milliers, voire des millions. Face à cet objectif, il devient nécessaire de se contenter de formes simplifiées de l'extérieur.

Une des approches les plus courantes est celle de l'approche par des surfaces planes : on suppose ainsi qu'un bâtiment est composé de faces (ou facettes) planes pour représenter les façades et la toitures ; du point de vue mathématique, on a affaire à un polyèdre. Dans ce type d'approches, il est impossible de modéliser les tours ou les coupoles à moins de les subdiviser en un grand nombre de petites surfaces planes. La Figure 4 donne le modèle conceptuel décrit dans le formalisme entité-association (Laurini-Milleret-Raffort, 1992) dans le formalisme entité-association d'un polyèdre : un polyèdre est au minimum composé de 4 facettes, une facette de trois arêtes, et chaque arête de deux sommets.

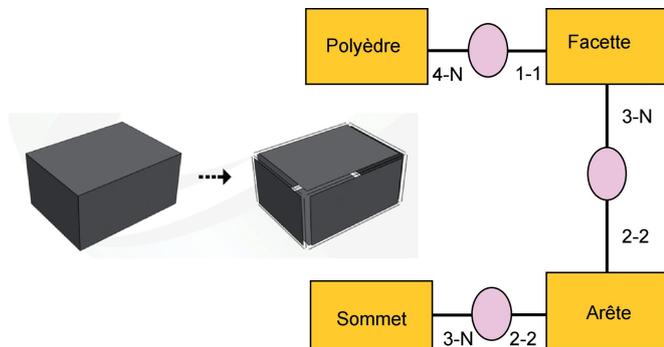


Figure 4. Modèle simplifié (entité-association) de bâtiments sous forme de polyèdres.

Il existe bien sûr d'autres modèles plus sophistiqués incluant des cylindres, des cônes, des sphères, des surfaces gauches, etc.

La grande difficulté pour modéliser un bâtiment au niveau d'une ville est de choisir le niveau de détails visé à savoir la granularité des informations à représenter. Est-il indispensable de connaître tous les détails géométriques au millimètre près des balcons, des fenêtres, des cheminées, des tuiles, ou bien s'agit-il de choisir une résolution plus faible ? Une des pistes communément adoptée est celle des textures. Dans cette hypothèse, un toit sera vu comme un plan sur lequel sera plaquée une texture de tuiles, une façades sera vue comme un plan avec sa texture propre, c'est-à-dire une modélisation rapide de type image. Dès lors on parlera de modèle virtuel 3D de villes.



Figure 5. Extrait d'un modèle de la ville de Berlin

La norme CityGML¹

Lancée par un groupe d'Allemands (Geodata Infrastructure North-Rhine Westphalia²), cette initiative réunit plus de 70 entreprises, municipalités et laboratoires de recherche qui coopèrent au développement et à l'exploitation commerciale de modèles 3D interopérables.

Ainsi, la norme CityGML se donne comme objectif de représenter les objets urbains à trois dimensions. Celle-ci définit les classes et les relations des objets trouvés dans les villes de plusieurs points de vue, géométrique, topologique, sémantique et d'apparence. Ces informations vont bien au-delà d'un simple format d'échange graphique car il est possible d'utiliser des systèmes de visualisation afin de permettre des analyses plus sophistiquées de type simulations, fouilles de données, etc.

Le format CityGML est un modèle de données ouvert construit sur le format XML permettant le stockage et l'échange de modèles virtuels urbains 3D : il dérive de la norme GML issue de l'Open Geospatial Consortium (OGC³) and the ISO TC211. Cette représentation se veut un standard ouvert et libre d'utilisation. En juillet 2007, l'OGC a reconnu CityGML comme une excellente proposition.

Les objets que la norme reconnaît sont d'abord les modèles numériques de terrains (MNT) sur lesquels seront posés les autres objets urbains, à savoir les bâtiments, les ponts, les tunnels, les murs de soutènement, les rivières, objets auxquels s'ajoutent les routes, les chemins de fer, les voies navigables, le mobilier urbain, les feux tricolores, les réseaux de transports, les arbres, etc.

Une fois modélisée, la ville doit être visualisée. Ceci est tout à fait possible avec des outils spécialisés comme LandXplorer-CityGML-Tool⁴ et Aristoteles⁵.

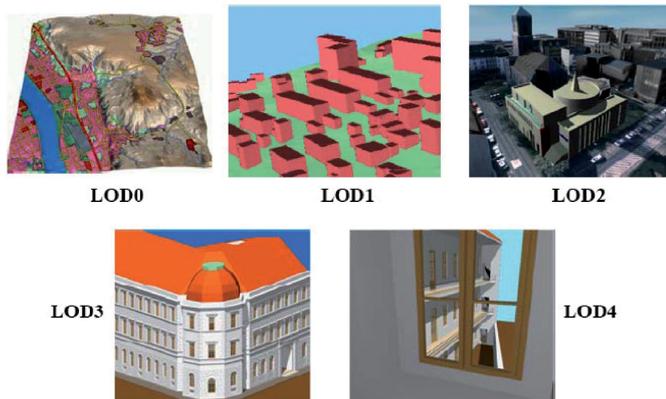
(1) <http://www.citygml.org/>

(2) <http://www.gdi-nrw.org/>

(3) <http://www.opengeospatial.org/>

(4) <http://www.3dgeo.de/citygml.aspx>

(5) <http://www.ikg.uni-bonn.de/aristoteles>



© Université de Bonn

Figure 6. Exemple de niveaux de détails (LOD) proposés par la norme CityGML.

Afin de permettre différents niveaux de modélisation, plusieurs niveaux de détails (LOD = Levels of Details) ont été définis et ceci pour deux raisons totalement différentes. La première dépend de la résolution avec laquelle les données ont été prises et stockées tandis que la seconde permet de dégrader la représentation des objets urbains et des bâtiments les plus éloignés, car cette dégradation permet d'envoyer moins d'informations sur le réseau et ainsi d'obtenir des temps d'affichage plus rapides. Ces niveaux sont les suivants (Figure 6) :

- **LOD 0 (Modèle régional)** : il s'agit d'un modèle numérique de terrain (2,5D) permettant de montrer l'ensemble d'un paysage, et dont les données proviennent essentiellement de laser aéroporté ;
- **LOD 1 (Modèle urbain)** : "modèle bloc" dans lequel les bâtiments sont schématisés sous forme de blocs sans structures de toit, donnant ainsi une idée de la répartition de la hauteur des bâtiments ; les données de base proviennent du

cadastre et de laser aéroporté ; dans ce cas sont intégrées des données provenant de photogrammétrie verticale ;

- **LOD 2 (Modèle urbain)** : même que précédemment mais avec des textures pour les façades et les toitures (photogrammétrie oblique) ;
- **LOD 3 (Modèle urbain)** : même modèle que précédemment mais avec un niveau plus détaillé du point de vue architecturale ;
- **LOD 4 (Modèle intérieur)** : modèle véritablement architectural "parcourable", c'est-à-dire avec un modèle de l'intérieur des bâtiments.

La Figure 7 donne un aperçu de l'usage concomittant de plusieurs niveaux de détails dans la même image.

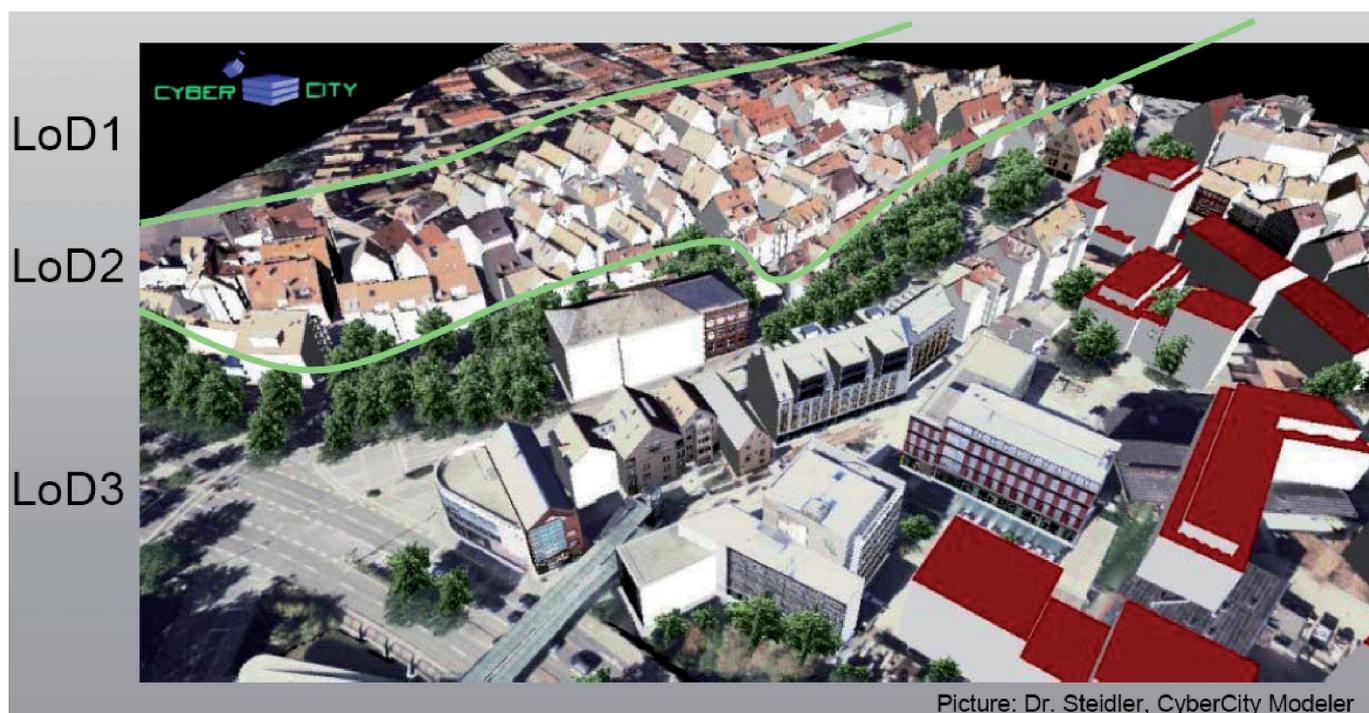
Google Earth et Virtual Earth

En 2004, la société Google a acheté la société Keyhole afin de lancer le produit Google Earth⁶ qui a été téléchargé 250 millions de fois. Les utilisateurs de Google Earth ont apporté leur contribution (images, modèles 3D, ...) au logiciel⁷. Environ 850 000 utilisateurs ont rajouté plus d'un million de photos. Rappelons que l'objectif de la société Google est d'organiser les savoirs du monde entier et de les rendre disponibles et accessibles universellement. Devant cet objectif, la carte du monde de Google est la base sur laquelle seront disposés tous les renseignements. En d'autres termes, cette carte est un chemin d'accès à tout type d'information localisée. Cependant, il n'existe pas encore beaucoup de lieux en trois dimensions accessibles par Google Earth ; en France par

(6) <http://earth.google.com>

(7) <http://motic.blogspot.com/2007/09/economist-vante-les-utilisations.html>

(8) <http://www.vexcel.com/>



Picture: Dr. Steidler, CyberCity Modeler

Figure 7. Intégration de différents niveaux de détails selon la distance.

© http://www.citygml.org/docs/Kolbe_CityGML_OGC_NYC_CAD_GIS_WG.pdf

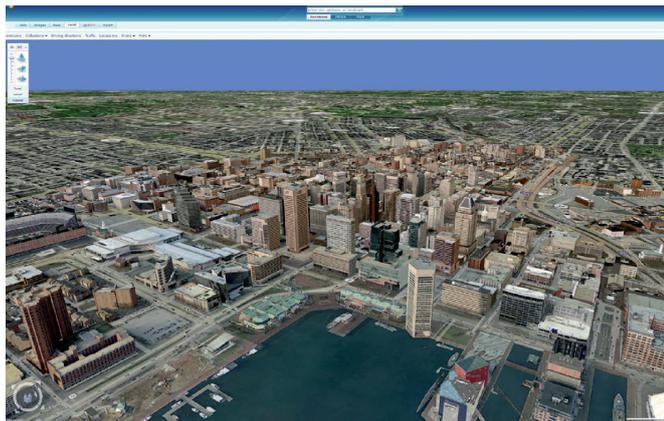


Figure 8. Exemple de modèle de ville virtuel (Baltimore) avec Virtual Earth.

▶ exemple certains bâtiments de Nice sont modélisés à 3 dimensions.

Cependant, de son côté la société Microsoft a acheté la société Vexcel⁸ en mai 2006 qui possédait un grand savoir-faire en photogrammétrie tridimensionnelle, notamment grâce à sa caméra UltraCam-X qui peut prendre des images de 216 megapixels au rythme de 3 gigabits par seconde avec des précisions de l'ordre de 4 cm par pixels. C'est ainsi qu'est né le projet Virtual Earth⁹ de Microsoft qui couvre à l'heure actuelle une quinzaine de villes américaines (San Francisco, San José, Seattle, Boston, Philadelphia, Los Angeles, Las Vegas, Detroit, Phoenix, Houston, Baltimore, Atlanta, Denver, Dallas-Fort Worth et New York), alors que plusieurs centaines d'autres sont en cours de saisie. On pourra constater (Figure 8) le caractère saisissant du réalisme ainsi obtenu en animation.

Remarques finales

Après des années d'hésitation, les SIG à 3 dimensions prennent vie sous la forme de villes virtuelles à 3 dimensions dans lesquelles on peut non seulement naviguer, se déplacer comme un piéton, comme un oiseau, mais aussi procéder à des simulations environnementales, et en d'autres termes, lancer de véritables traitements. L'objet de cet article était de montrer les tendances lourdes de ce type de préoccupations.

Pour diverses raisons, la France avait manqué le tournant de la photogrammétrie, alors que cette technique est à la base des villes virtuelles 3D permettant non seulement d'estimer les hauteurs des bâtiments, mais aussi de repérer les textures des façades et des toitures.

La norme CityGML devrait rencontrer un consensus et vraisemblablement être adoptée comme norme officielle dans les mois à venir.

En ce qui concerne Virtual Earth de Microsoft, il faudra sans doute attendre plusieurs mois pour que diverses villes fran-

(9) <http://www.microsoft.com/virtualearth/>

(10) Le 26^e symposium UDMS a eu lieu les 10-12 octobre 2007 à Stuttgart. Voir <http://www.udms.net/>.

çaises soient ainsi couvertes. Néanmoins, quoiqu'il en soit, beaucoup d'applications urbaines à trois dimensions devraient voir le jour comme celles, nombreuses, qui ont été présentées lors du dernier Symposium européen sur les Systèmes d'information de l'UDMS¹⁰ en octobre 2007. ●

Contacts

Robert LAURINI - Sylvie SERVIGNE
LIRIS, INSA de Lyon
Robert.Laurini@insa-lyon.fr
Sylvie.servigne@insa-lyon.fr

Références

Ferries B. (2007) "Maquettes numériques des bâtiments et des territoires : l'interopérabilité progresse" GeoEvenement 2007, Paris, 3 au 5 avril 2007.

Kraus, K., Waldaeusl, P., (1998) "Manuel de photogrammétrie, principes et procédés fondamentaux". Traduction de Grussenmeyer P. et Reis O. Paris : Hermès, 407 pages.

Laurini R., Milleret-Raffort F. (1993) "Les bases de données en géomatique". Paris : Hermès, 340 p.

Müller P. (2006) "Procedural Reconstruction of Archaeological Sites" Eurographics Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST), Hilton Hotel, Nicosia, Chypre, 2 novembre 2006.

<http://www.vision.ee.ethz.ch/~pmueller/wiki/Courses/VAST2006>.

Döllner J., Hagedorn B. (2007) "Integrating urban GIS, CAD and BIM data by service based virtual 3D city models" In Proceedings of the 26th UDMS, October 10-12, 2007, Stuttgart, Germany., "Urban and Regional Data Management", edited by V. Coors, M. Rumor, EM Fendel, S. Zlatanova, Published by Taylor and Francis, ISBN 978-0-415-44059-2, pp. 403-413.

ABSTRACT

Key words : Geographic Information Systems, GIS, 3D, virtual cities, CityGML, Google Earth, Virtual Earth.

From several years, many works try to model cities as tri-dimensional objects. Those tools now are mature enough and are made available. An outlook of underlying models and technologies are presented in this paper. After having given a list of potential applications, various concepts of 3D city models are presented. The standard CityGML is then sketched, aiming at modelling the totality of urban buildings and furniture. We conclude this paper by presenting very rapidly projects from companies, Google (Google Earth), and Microsoft (Virtual Earth) whose objectives are describing cities all around the world with a high degree of realism, in order to navigate, organize information, locate services and run simulations.