

# SIG et 3D au service des collectivités territoriales : l'expérience de la Ville du Havre

■ Olivier BANASZAK - Mathieu KOEHL

## MOTS-CLÉS

modélisation 3D, projet, ville, aide à la décision, communication

*L'évolution des technologies SIG confirme ce qui pouvait être pressenti depuis une dizaine d'années : les données géographiques dans les SIG sont appelées à mieux prendre en compte la troisième dimension. Dans un proche avenir, l'approche géographique de notre monde qui est véhiculée par des outils comme Google Earth ou le Géoportail 3D deviendra courante et s'adressera au plus grand nombre, contribuant ainsi au développement d'une culture géographique plus intuitive.*

*Devant le succès et l'engouement dont bénéficient actuellement les technologies 3D et leurs diverses applications, il paraît aujourd'hui intéressant de faire un état des lieux. Quel exemple plus diversifié pour cela que le champ des collectivités territoriales et de leurs multiples compétences.*

*Le service Système d'Information Géographique Urbain (S.I.G.U.) de la Ville du Havre a commencé à modéliser la Ville en trois dimensions dès l'an 2000. L'intérêt de cette démarche et des possibilités qu'elle offre ont pu largement être vérifiés, notamment pour ce qui concerne la concertation publique et l'accompagnement de projets.*

*L'activité s'est alors développée. Une maquette virtuelle complète de la Ville a pu être constituée et continue maintenant à s'enrichir. Son exploitation a permis au service S.I.G.U. d'acquérir une solide expérience, dont on trouvera dans la suite de cet article l'illustration et quelques résultats.*

## Quelles données 3D pour les SIG ?

### ■ Le contexte

La gestion de données tridimensionnelles ne constitue pas en soi une réelle nouveauté dans le domaine des SIG.

En effet, la diversité des cultures techniques des éditeurs de logiciels SIG a permis l'émergence de produits intégrant la 3D volumique dès le milieu des années 90. Toutefois, ces anciens outils exigeaient alors des configurations informatiques très spécifiques et coûteuses qui restreignaient leur usage à quelques spécialistes.

Le progrès technologique en informatique a permis le développement de l'utilisation des techniques de simulation en 3D grâce à l'effet moteur que constitue le développement des jeux vidéo. Aujourd'hui, les cartes graphiques accélératrices 3D font partie des composants de base de tout ordinateur, ce qui ouvre la porte à de nouvelles possibilités.

Parallèlement, l'essor de l'utilisation d'Internet et de l'implantation du haut débit permet aux PC familiaux de pouvoir accéder à des volumes et flux de données plus importants dans de bonnes conditions de performance.

Cet accroissement du niveau de performance des ordinateurs permet aussi de pouvoir bénéficier de stations de calcul 3D

très puissantes pour un coût d'équipement raisonnable, ce qui accroît l'accessibilité à ces outils sur un plan financier.

Il n'en demeure pas moins que la mise en œuvre d'une maquette numérique en trois dimensions d'un territoire requiert une forte technicité. Il s'agit de développer une grande polyvalence car de nombreuses technologies sont mises en œuvre dans les processus de constitution et d'exploitation de cette maquette.

### ■ Les formats et les outils

#### Une grande diversité

La longue période de gestation et de développement des technologies 3D a donné naissance à de nombreux logiciels qui se sont imposés chacun pour des utilisations spécifiques. Au fil de leur évolution, les domaines d'application de ces outils en sont venus à se recouvrir partiellement.

Les données sont la plupart du temps étroitement liées aux outils qui les exploitent, elles en sont même parfois indissociables. Ceci est d'autant plus vérifié dans un environnement industriel fortement concurrentiel, car en pleine expansion. Aussi plusieurs formats de données se sont imposés au fil du temps et constituent de fait des "standards". Ces formats sont dans leur majorité liés à des logiciels particuliers, mais il

existe des formats libres qui résultent plutôt de démarches de conception collectives telles que le format X3D du consortium Web3D. Ce format est le successeur désigné du format VRML (Virtual Reality Mark-up Language – langage de balises pour la réalité virtuelle) qui est plus connu puisqu’il constitue une norme ISO.

Les logiciels de modélisation 3D sont multiples. Pour n’en citer que quelques-uns, nous avons : Blender, Lightwave 3D, 3D StudioMax, Alias, SketchUp, Rhino 3D, etc.

Les logiciels de CAO/DAO tels que AutoCAD et Microstation offrent la possibilité de réaliser des plans de conception technique en trois dimensions et intègrent donc tout naturellement un modèleur 3D.

Enfin, les principaux logiciels SIG actuels permettent le chargement et l’exploitation de données en 3D, à des degrés variés. Certains disposent même d’un éditeur graphique de données en 3D ou encore gèrent nativement les données 3D volumiques.

### Les choix de la Ville du Havre

Les services techniques de la Ville conçoivent leurs projets d’aménagements au moyen du logiciel AutoCad. Les projets peuvent donc être conçus, dès l’origine, en trois dimensions, ce qui en permet une intégration directe dans la maquette en 3D qui est construite avec le même logiciel.

Le SIG de la Ville est lui basé sur la plateforme ArcGIS de l’éditeur ESRI Inc. Pour réaliser l’exploitation la plus aboutie, en termes de rendu des données 3D, le service S.I.G.U. utilise le logiciel 3D StudioMax qui présente l’avantage d’une grande compatibilité avec AutoCad (même éditeur).

### ■ Les modèles de données

La forme que revêt la modélisation des données en trois dimensions a une grande importance car elle conditionne les exploitations que l’on va pouvoir en faire. Il existe plusieurs procédés de modélisation géométrique d’objets 3-D :

- Les premiers procédés utilisent des procédés analytiques qui reposent sur des résolutions de surfaces ou des modèles standards de volumes.
- Les seconds procédés, dits procédés d’approximation, reposent sur des méthodes d’interpolation, d’approximation par éléments finis, etc.

Dans un système de traitement de données graphiques, orienté vecteur, nous trouvons principalement des lignes, des surfaces et des volumes.

Il s’agit là, en fait, des trois types de modèles les plus importants utilisés dans le domaine du DAO.

La modélisation géométrique dans un Système d’Information Topographique utilise principalement le mode de représentation BR (Boundary Representation, représentation par frontières).

Cette représentation permet de travailler avec les éléments géométriques directement saisis lors de l’acquisition des données, à savoir, les points et les contours formant des surfaces. Des extensions sont possibles en utilisant des primitives 3-D déjà existantes (comme les cylindres, les troncs de cônes, les portions de sphères) ou en construisant des primitives à l’aide des outils de DAO.

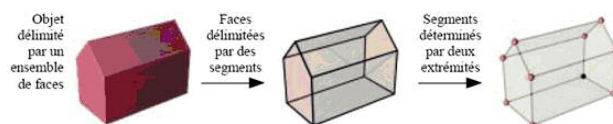


Figure 1. Décomposition en BR.

Le modèle BR est l’extension indispensable du modèle “fil de fer” qui permet de gérer sans ambiguïté n’importe quel type d’objet (ponctuel, linéaire, surfacique et même volumique pour certains modèles suffisamment élaborés). Dans le cas du BR simple, les objets sont définis par un ensemble de faces. Chaque face est ensuite définie par un ensemble de segments, et enfin, chaque segment dispose de deux extrémités (Figure 1).

Des volumes peuvent être introduits au moyen d’un BR qui intègre l’orientation des faces (l’orientation permet de savoir de quel côté de la face se situe le volume). Grâce à un BR simple, on ne peut connaître que les frontières de l’objet sans avoir d’idée sur ses propriétés volumiques.

Il convient également de signaler que les faces délimitées par un ensemble de segments doivent être planes. Si l’on se restreint à des faces triangulaires, la vérification de la planéité des faces n’est plus à faire. Les modèleurs qui autorisent la définition de faces par un ensemble de segments (ou ce qui revient au même, par une suite de points) mettent en garde au sujet des faces non planes.

Souvent, pour être affichées, ces faces sont triangulées grâce à une méthode automatique qui, lorsque la face n’est vraiment pas plane, ne donnera pas toujours le résultat attendu par l’utilisateur.

Cependant, les faces “quasiment” planes seront acceptées puisque les arrondis sur les données ne permettent pas d’avoir des faces absolument planes.

Cette modélisation par frontières est celle qui se rapproche le plus des primitives vecteur utilisés par les systèmes bidimensionnels.

La décomposition des objets en simplexes peut donc être considérée comme un BR simplifié où les seules faces autorisées sont les triangles.

Un n-simplex est l’entité la plus simple de dimension n. Le 0-simplex est un point, le 1-simplex est un segment, le 2-simplex un triangle, le 3-simplex un tétraèdre, etc.

Chaque n-simplex est délimité par n+1 (n-1)-simplexes (par exemple, un triangle est délimité par 3 segments).

Avec une telle restriction, toutes les faces sont absolument planes puisque chaque face est un triangle (aucune vérification de planéité n’est à effectuer car un triangle est toujours plan).

Les objets regroupant plusieurs n-simplexes (n non obligatoirement unique) forment des complexes simpliciaux. Ce sont ces complexes qui peuvent définir des objets plus significatifs. Cependant, les complexes simpliciaux doivent répondre à deux conditions :

- Quel que soit le n-simplex appartenant au complexe simplicial, tous les m-simplex ( $m \leq n$ ) qui entrent dans sa composition doivent appartenir au complexe.

- Quels que soient S1 et S2, deux simplexes du complexe simplicial, alors l'intersection de S1 et de S2 est soit vide, soit égale à un simplex commun à ces deux simplexes (et donc appartenant à ce même complexe).

Cette dernière condition apporte une certaine cohérence aux données, et en quelque sorte une topologie (les relations de construction sont topologiques puisqu'invariantes par homéomorphisme). En effet, deux segments, lorsqu'ils s'intersectent ailleurs qu'en leurs extrémités, donnent naissance à un point et chacun de ces deux segments se divise en deux. C'est ce que l'on appelle des données "topologiquement" cohérentes.

Tous les modèles présentés ne se comportent pas de la même manière devant les différentes applications qui requièrent une représentation d'objets en trois dimensions. Certains pourront convenir parfaitement à des applications de la mécanique alors qu'ils seront totalement inadaptés au monde géographique. Chaque application a ses propres spécificités, et c'est principalement pour cette raison qu'il existe plusieurs types de modélisations.

### ■ Typologie des données 3D dans les SIG

Les données 3D dans les SIG existent sous différentes formes qui dépendent de leur mode d'acquisition et de l'objet qu'elles modélisent.

#### Le sol

L'objet qui modélise le relief et la surface terrestre s'appelle le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Ce MNT se rencontre sous diverses formes : image (grille d'altitudes) ou vectorielles (semis de points régulier, courbes de niveaux, réseau de triangles irréguliers, etc.).

L'exploitation de ce MNT à des fins de connaissance du territoire conduit à "draper" sur le MNT une orthophotographie, permettant ainsi de visualiser le relief complété par des informations contenues dans des images.

#### Le sursol

Entrent dans cette catégorie tous les objets dépassant du sol de façon significative, principalement les bâtiments et la végétation.

Les bâtiments sont modélisés avec leur toiture. Pour améliorer le niveau de réalisme des bâtiments, les façades et les toits sont texturés. Pour ce faire, on applique soit des textures génériques (couleurs proches de la couleur dominante du bâtiment), soit des images correspondant à une photographie numérique de la façade. La photographie aérienne apporte des informations et des données permettant de texturer les toitures.

La végétation peut-elle être modélisée sous deux formes ? Dans le cas d'un bois, par exemple, on pourra extraire du MNE (Modèle Numérique d'Élévation incluant le sursol) le volume correspondant à ce bois. Un rendu suffisamment réaliste sera obtenu par drapage de la photographie aérienne. Pour les alignements d'arbres ou les arbres isolés, par contre, la connaissance de la localisation et de la hauteur de chaque arbre permettra de le représenter individuellement en trois

dimensions. Le fait de connaître également l'essence de l'arbre autorise l'appel à des modèles d'arbres prédéfinis, disponibles dans des bibliothèques d'objets spécifiques.

#### Les thématiques

Il s'agit potentiellement de tous les objets de notre environnement quotidien. Dans le cadre des collectivités territoriales, ce sont les éléments entrant dans la gestion des espaces publics qui sont les plus intéressants.

Si ces éléments sont généralement présents dans les bases de données géographiques des Systèmes d'Information Territoriaux, la plupart ne sont modélisés qu'en 2D. Il est donc nécessaire de les modéliser en 3D, notamment en les projetant sur le MNT ou le MNE, ce qui peut être automatisé grâce aux logiciels SIG.

Le mobilier urbain, le jalonnement et la signalisation verticale, les candélabres sont autant de données thématiques pouvant être modélisées en 3D. L'univers 3D de la maquette virtuelle peut ainsi être enrichi en lui conférant un niveau de détail, donc de réalisme, plus élevé.

#### Le sous-sol

L'amélioration de la connaissance du sous-sol, dans sa composition mais aussi et surtout par les nombreux réseaux tridimensionnels qui y sont enfouis (eau, assainissement, chauffage, électricité, gaz, téléphone et fibres, câbles, etc.) ou qui le sillonnent (cavités et galeries souterraines, cours d'eau, etc.) représente un enjeu très important. Elle constitue également une pierre d'achoppement car l'acquisition des données sur le sous-sol est encore délicate et coûteuse.

## Acquisition des données : quelles techniques ?

### ■ La photogrammétrie : une technologie qui a fait ses preuves

#### Quel type de restitution ?

Le choix des spécifications concernant la restitution photogramétrique et la prise de vue aérienne requise pour la restitution dépend de la précision et du niveau de détail que l'on souhaite mettre en œuvre dans la modélisation en 3D de son territoire.

Il faut garder à l'esprit que plus le niveau de détail est élevé, plus le volume des données à gérer sera important. Ceci pourra avoir de grandes incidences sur la capacité à exploiter la maquette de façon suffisamment performante. En outre, le travail de mise à jour de la maquette peut s'avérer long et coûteux si la précision est trop élevée et nécessite, par exemple, des relevés topographiques complémentaires.

Dans le cas des maquettes 3D, la restitution photogramétrique sert de relevé de base. Les bâtiments sont acquis à partir de leurs toits dont les contours sont projetés sur les surfaces sous-jacentes (MNT ou éléments de toits inférieurs). Le modèle résultant est un modèle de surfaces. Chaque bâtiment est décomposé en faces indépendantes. Les façades de

bâtiments résultant de cette modélisation sont décomposées en faces simples ; une façade peut, de ce fait, être décomposée en plusieurs faces :

- Cette modélisation a l'avantage d'utiliser une restitution fidèle des éléments en suivant le Z et de pouvoir générer des faces automatiquement par projection.
- Cette modélisation a l'inconvénient de décomposer un bâtiment en plusieurs entités lors de la projection.

Les toits relevés sont ainsi classés en 3 types :

- Toit terrasse – plat
- Toit multipan
- Élément sur Toit

Chaque type est restitué sous forme de contours ou de segments. Ainsi, distinguons-nous parmi les premiers éléments des "contours de toits terrasses – plats", des contours de "trous de toits terrasses – plats", des "contours d'éléments sur toits", des "contours de toits multipans", des "contours de chien-assis" et autres lucarnes. Les segments mesurés correspondent essentiellement aux "arêtes faîtières".

Des indications sur ces "Modèles et méthodologies de saisie pour maquettes numériques 3D" ont déjà été données, notamment dans la revue XYZ n°97 [2003].

#### Caractéristiques des données de la Ville du Havre

La maquette 3D de la ville du Havre a été obtenue par restitution photogrammétrique en 3 dimensions des bâtiments à

partir d'une prise de vue aérienne de 2006 réalisée avec une chambre de prise de vue Leica ADS40. Ce travail a permis d'obtenir des vecteurs de contours du bâti et des faîtages (formats dwg ou dxf). La restitution a également porté sur l'implantation des arbres sur le domaine public.

La précision du niveau de détail est de 2 mètres, mais la précision du pointé est, elle, proche de la taille des pixels de la prise de vue (20 cm). La saisie des détails architecturaux a été effectuée pour les variations de hauteurs supérieures à 2 mètres, de ce fait certains balcons, cheminées et cages d'ascenseur n'ont pas été restitués.

Un traitement automatique en interne permet de projeter les façades à l'aplomb des toits sur le MNT. Un soin particulier a été apporté à l'accrochage aux objets. (Figures 2)

Le traitement des surfaces non planes a été spécifique. Il était nécessaire de trianguler les surfaces, de les saisir par "facetisation" même si l'environnement de restitution permettait d'obtenir des surfaces non planes.

Les toits (faîtage, terrasse,...) ont été saisis en objets "Face 3D" ou "Maillage 3D", les contours des toits ont été saisis en objets "Polyligne 3D" fermés.

#### ■ Les Modèles Numériques d'Élévations (MNE) : une solution émergente

##### Production d'un MNE

Les MNE peuvent être obtenus par deux méthodes principales. La plus ancienne est issue du domaine spatial et de la télédétection. Il s'agit d'appliquer des algorithmes de traitement à des couples de clichés numériques présentant une zone de recouvrement pour calculer des grilles de MNE. Cette méthode donne de bons résultats pour les données à petite échelle.

La technologie émergente actuellement repose sur l'utilisation de lasers aéroportés (LIDAR). Cette technologie permet de produire simultanément un MNT et un MNE. Le nuage de points obtenus correspond au MNE mais comporte des zones indécises, notamment les zones de végétation. En effet, la végétation n'est traversée que partiellement par le rayonnement Laser, d'où un bruit parfois important.

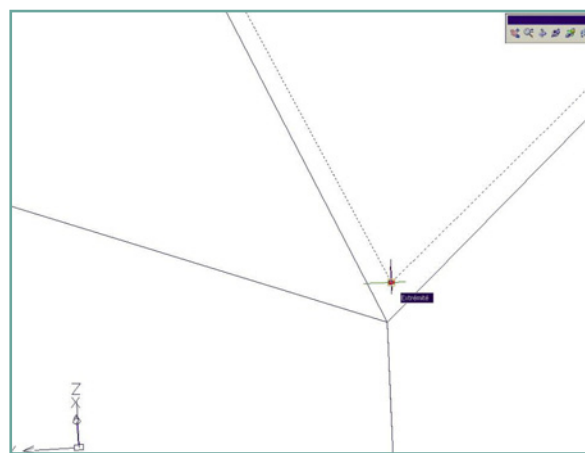
Des méthodes de filtrage permettent néanmoins de segmenter les nuages de points en ne conservant que la partie correspondant au terrain naturel ou au sol. Les zones recouvertes par des bâtiments sont ainsi détectées, les bâtiments éliminés et le sol sous-jacent apparaît alors grossièrement interpolé : cette partie conservée constituera le MNT. La végétation peut également être en partie éliminée par ces méthodes.

En conservant les parties du sursol, après avoir filtré le nuage de points et réduit les bruits, nous obtenons un MNE constitué en partie du MNT et de tous les éléments du sursol.

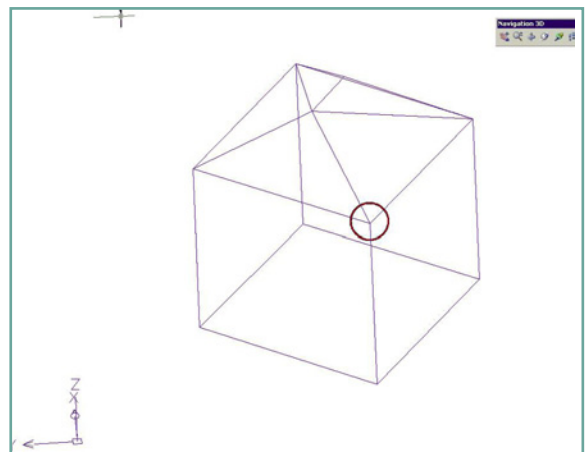
##### Vectorisation

En croisant le MNE avec une couche d'emprise de bâtiments en 2D, il est possible de vectoriser les bâtiments en 3D pour créer une maquette. Cette vectorisation repose sur des profils obtenus par intersection ou projection des nuages de points correspondant aux façades sur le sol : on obtient ainsi la trace au sol du contour du bâtiment. L'élévation du bâtiment est

Figures 2.



a) Exemple de mauvais accrochage.



b) Exemple de bon accrochage.





ensuite obtenue en extrudant verticalement les traces au sol jusqu'à l'altitude du contour des toits (en général, la ligne des gouttières). Les toits sont vectorisés en segmentant les nuages en parties correspondantes et en y déduisant des pans de toits sous forme de plans moyens. Il ne reste alors plus qu'à contraindre les différentes arêtes communes pour obtenir une structure conforme à la réalité.

La qualité géométrique de la maquette résultant dépend alors de la densité et de la précision du MNE. En fonction de la densité de l'acquisition LIDAR (quelques décimètres) le MNE pourra constituer une base très intéressante pour la constitution d'une maquette 3D.

La végétation pourra, par exemple, être conservée sous forme de nuage de points pour un rendu réaliste. Les bâtiments pourront également être conservés sous cette forme pour des visualisations à petite échelle.

## Quelles nouvelles possibilités avec la 3D ?

### ■ Découverte et visite du territoire

L'orthophotographie aérienne permet de comprendre un lieu de façon bien plus intuitive et détaillée que la cartographie, qui s'adresse à un public plus initié et demande une plus grande capacité d'abstraction.

Cependant, il manque une information pour pouvoir réellement prendre la mesure du territoire qui est le sujet de cette photographie : la perception du relief. On peut certes, l'obtenir par ajout d'informations graphiques (courbes de niveau, dégradés de couleurs, ...). Mais, c'est alors au prix de la lisibilité de cette photographie, ce qui lui enlève inévitablement une partie de son intérêt.

Le MNT et les technologies 3D nous permettent de pallier cette lacune en nous offrant la possibilité de représenter et de visualiser cette orthophotographie drapée sur la surface du terrain naturel.



**Figure 3.** Représentation 2D du plateau au nord ouest de la Ville permettant de localiser les projets en cours d'étude.

### Complémentarité entre représentation 2D et 3D

Ce mode de représentation n'est cependant pas nécessairement antagoniste avec la représentation plane plus traditionnelle. Il se présente même une certaine complémentarité entre les deux formes de perception du territoire.

En effet, la représentation plane du territoire est très efficace pour nous permettre de situer, de localiser un lieu ou un objet au sein d'un vaste territoire (Figure 3).

### Les avantages de la 3D

Une fois cet endroit repéré et situé dans son environnement, la 3D nous permet d'accéder à une compréhension intuitive du site en nous offrant la possibilité de nous y immerger.

Utilisé de façon interactive, avec des fonctions de navigation ad hoc, le modèle 3D va pouvoir faire l'objet d'une véritable exploration virtuelle. Il nous permet alors de découvrir un espace donné en le parcourant virtuellement. Un site va pouvoir être visualisé sous tous ses aspects avec différents points de vue, celui du piéton, de l'automobiliste ou du pilote d'avion ! (Figure 4)

Plus le niveau de réalisme est élevé, plus la perception de l'espace sera intuitive. De ce point de vue, il est intéressant d'enrichir la maquette en y incorporant le mobilier urbain, la végétation, des véhicules ou encore des êtres vivants virtuels.

L'intérêt de la perception tridimensionnelle prend toute sa mesure lorsque l'on associe toute la richesse de la connaissance du terrain naturel et du sursol à celle du sous-sol. Les technologies 3D nous offrent en la matière des perspectives importantes. La modélisation en 3D des réseaux enterrés et l'amélioration de notre connaissance de ceux-ci représentent un enjeu de taille pour le développement futur des SIG. La tragique explosion d'une canalisation de gaz percée récemment lors de travaux de voirie nous le rappelle cruellement.

De manière plus générale, la modélisation en 3D du territoire se révèle très utile pour la réalisation de projets d'aménagement et d'urbanisme, grâce à la lisibilité qu'elle confère.



**Figure 4.** Visualisation en 3D des projets sur ce même territoire.

## ■ La 3D dans le cycle du projet

Pour bien concevoir un projet, il faut avant tout comprendre l'existant. Comme on vient de le voir, la maquette en 3D est un outil de choix pour faciliter et améliorer cette compréhension.

Mais l'intérêt des technologies 3D pour la gestion de projet va bien au-delà. En effet, le fait de disposer de cette représentation virtuelle du territoire existant permet de pouvoir réaliser des simulations. Il est ainsi possible de mettre en scène tout projet de construction, d'aménagement ou de renouvellement urbain.

La 3D se révèle intéressante à exploiter à toutes les étapes d'un projet qu'elle accompagne depuis sa conception initiale jusqu'à sa mise en œuvre concrète.

### Aide à la décision

Elaborer un projet, consiste à faire des choix. La modélisation en 3D d'un projet et son insertion dans la maquette en 3D du territoire constituent, à cette fin, un puissant outil d'aide à la décision.

Ainsi, alors qu'un projet n'en est encore qu'au stade de l'idée, le modèle 3D va permettre, par exemple, de simuler et de visualiser différentes hypothèses de volumétrie pour les valider ou les invalider. (Figure 5)

Au stade d'un avant-projet sommaire, on va pouvoir visualiser le projet dans l'espace et vérifier, en premier lieu, sa pertinence et sa cohérence, puis sa bonne insertion dans le site. La simulation va, en effet, permettre de visualiser l'impact d'un projet sur son environnement.

Ceci est bien sûr intéressant dans le cadre de l'étude d'impact, lors de la conception d'un projet, mais sera également utile pour l'instruction des demandes de permis de construire. Si le volet paysager du dossier de demande d'autorisation n'est pas suffisamment représentatif du projet et si des doutes subsistent quant à l'impact paysager des travaux, il sera possible de réaliser une simulation à partir des plans-projets remis par l'architecte.



Figure 5. Simulation de la volumétrie d'un plan de composition.

Ainsi, à la Ville du Havre, il est arrivé que la vue en perspective fournie par l'architecte donne l'impression que l'immeuble de logement projeté avait une volumétrie et surtout une hauteur trop importante par rapport aux immeubles avoisinants. (Figure 6). Un refus de permis de construire était alors à craindre. Par acquis de conscience, la simulation en 3D de l'immeuble a permis de calculer l'image de synthèse correspondant au point de vue de la perspective initiale. Résultat : la perspective dessinée à main levée était fautive et trompeuse, le bâtiment s'insérait bien dans l'existant et le permis de construire a été finalement délivré. (Figure 7) Le bâtiment, une fois construit est effectivement bien intégré dans l'environnement. Le fait de pouvoir visualiser un projet en 3D suffit en lui-même à constituer une aide précieuse à la conception. Ainsi, dans un autre exemple, le projet d'aménagement d'un parc sportif a été recréé en 3D avec toutes ses composantes (bâtiments, voirie et espaces verts). Cette étape a permis de détecter la présence d'arbres dont l'arrachage n'avait pas été prévu. Ils se situaient au milieu d'un futur vestiaire ou encore d'une zone de stationnement. Une telle erreur reste toujours possible lorsque l'on travaille avec les logiciels de CAO/DAO sur des projets complexes faisant intervenir de très nombreuses couches correspondant aux différents corps de métier. L'exercice de modélisation en 3D de l'ensemble du projet permet de faciliter les contrôles et de déceler plus rapidement ce type d'erreurs.



Figure 6. Perspective à main levée d'un immeuble de logements.



Figure 7. Simulation 3D calculée à partir du projet d'immeuble de logements.





Enfin, les données géographiques en 3D permettent de réaliser des études et analyses spatiales tridimensionnelles qui se révèlent très malaisées sans ces technologies : il s'agit de toutes les études d'ensoleillement et autres études d'exposition à différents phénomènes, de propagation ou encore d'intervisibilité.

### Concertation et communication

Outre sa vocation d'outil d'aide à la décision, la 3D revêt aussi un rôle très important dans l'accompagnement du projet en termes de communication.

Les films d'animation en images de synthèse 3D simulant l'insertion d'un projet dans son environnement constituent un support d'information très performant et efficace. Ils permettent d'expliquer ce projet au public de manière didactique et concrète. Ils sont donc utiles tant pour la concertation publique que pour l'explication du projet aux partenaires et à la population.

Dans le cadre de la concertation, on peut ainsi mettre en scène différentes hypothèses d'aménagement en expliquant les choix qui ont été réalisés. Grâce à ces simulations, la compréhension du projet devient accessible à tous, ce qui permet de favoriser un débat constructif, bien centré sur le projet.

Pour la communication autour du projet, les possibilités offertes sont multiples, car différents types de supports peuvent être mis en œuvre, outre les films de simulation. On peut, par exemple, créer des images de synthèse en haute définition pour la réalisation de posters, d'affiches ou pour l'illustration de plaquettes d'information. On peut encore réaliser des cédéroms ou mettre en place des bornes d'information permettant une navigation interactive dans la maquette de l'existant et du projet.

Nombre de ces possibilités ont pu être exploitées avec un grand succès par la Ville du Havre au cours de ces dernières années, notamment pour l'accompagnement des opérations de renouvellement urbain.

## Mise en œuvre de la 3D à la Ville du Havre

### ■ Quelques chiffres

Le Havre en 3D, c'est 60,3 km<sup>2</sup> de territoire restitué, soit 100 % des bâtiments de la ville, ce qui représente 65 661 bâtiments restitués pour un total de 359 896 facettes de toits.

En outre, 23 646 arbres ont été restitués sous la forme de points cotés avec la hauteur de l'arbre. 60 % des bâtiments de la ville ont été photographiés pour texturer les façades, ce qui représente 2915 prises de vues réalisées sur le terrain et 2369 images redressées.

En termes d'exploitation de la maquette 3D, 60 projets de réalisation de produits à valeur ajoutée, ont été réalisés depuis 2001.

### ■ D'un SIG 2D vers un SIG 3D

La démarche de création d'une maquette en 3D de la Ville du Havre a débuté en 1999, à l'initiative du service S.I.G.U. L'enjeu

était de commencer à acquérir et structurer la donnée géographique de l'avenir.

Cette démarche vise à atteindre trois objectifs :

- constituer une base de données géographiques 3D avec une précision de 0,40 m ;
- avoir un rendu photo-réaliste sur toute la ville ;
- mettre à disposition des services municipaux via les logiciels de CAO/DAO (AutoCad), de SIG (ArcGIS) et les outils de visualisation par Intranet.

### Constitution des données 3D

Pour la constitution de la maquette, deux axes ont tout d'abord été suivis :

- Acquisition de la BDTopo 3D de l'I.G.N. assortie de son MNT ;
- Restitution photogrammétrique par le laboratoire de photogrammétrie de l'INSA de Strasbourg, des bâtiments d'un quartier pilote à partir d'une photographie aérienne 1997.

Si la BDTopo 3D a rapidement montré quelques lacunes et une certaine inadéquation avec les besoins d'une collectivité territoriale, la restitution des bâtiments a présenté un intérêt indéniable, confirmant ainsi la pertinence de la démarche de création d'une maquette 3D virtuelle de la Ville.

De nouveaux modèles 3D ont ensuite été réalisés sur les quartiers à forts enjeux en termes de projets urbains. Ils ont permis d'affiner un cahier des charges et des spécifications techniques pour la constitution des données 3D.

La restitution photogrammétrique permet d'obtenir les faîtes des bâtiments : les toitures sont décomposées en faces adjacentes selon leurs discontinuités et leurs contours sont également restitués.

Il est alors possible de projeter ces contours des toitures sur le MNT afin de créer les faces correspondant aux murs. On obtient ainsi une base de données 3D des bâtiments de la Ville. La dernière étape consiste à associer une texture à chaque face : l'orthophotographie sert de base pour l'extraction des textures des toits et des photographies numériques des façades sont utilisées pour texturer les murs des bâtiments.

### Extension et mise à jour

Le modèle et la structuration 3D étant établis, la maquette pouvait être complétée sur l'ensemble du territoire. En 2006/2007, une action combinée de réalisation d'un orthophotoplan numérique, de complément et de mise à jour de la maquette 3D a été entreprise à cette fin.

Dans un premier temps, un marché public a été passé en 2006, en partenariat avec la Communauté de l'Agglomération Havraise (CODAH) et le Port Autonome du Havre, pour la réalisation d'un MNT, d'un MNE et d'un orthophotoplan numérique couvrant un territoire de 650 km<sup>2</sup>. La prise de vue aérienne a été réalisée au moyen d'une chambre de prise de vue Leica ADS40. Celle-ci a permis d'obtenir deux orthophotoplans (couleur et infrarouge) ayant une résolution et une précision de 20 cm.

Le MNT et le MNE ont été mesurés lors du même vol avec un laser aéroporté (LIDAR) Leica ASL50. La densité des nuages de points résultants est de 0,25 point/m<sup>2</sup> avec une précision de mesure de 30 cm en altimétrie.

A partir des données panchromatiques obliques de la prise de

vue, un second marché de restitution photogrammétrique a été passé par la Ville du Havre, afin de mettre à jour et de compléter la maquette existante. La prestation a permis également d'assurer la restitution des arbres situés sur le domaine public (hors forêt).

En ce qui concerne l'évolution de la maquette, la couche des bâtiments 3D est mise à jour régulièrement dans le cadre de l'entretien des référentiels géographiques de la Ville du Havre qui est réalisé par le service S.I.G.U., à partir notamment des informations des permis de construire.

### Exploitation et valeur ajoutée

Tout comme les cartes constituent une production à valeur ajoutée à partir de la représentation des données géographiques en 2D, divers produits sont réalisés grâce à la représentation des données 3D. Il s'agit principalement d'images de synthèse en haute définition et de films d'animation.

Un logiciel modélisation et de rendu en 3D (3D StudioMax) est utilisé pour cela. Un univers 3D y est créé en y important le MNT, l'orthophotoplan et les bâtiments avec leurs textures photo-réalistes. A ce stade les faces des bâtiments sont réunifiées et chaque bâtiment devient un objet à part entière.

Cette mise en scène peut être complétée par l'insertion du mobilier urbain et des arbres. Les essences de ces derniers étant contenues dans la base, l'utilisation de bibliothèques "standards" de végétaux permet d'obtenir des rendus plus réalistes.

Enfin, il est possible d'ajouter "de la vie" à cet univers 3D : il est animé avec des véhicules et des êtres vivants virtuels.

### Exemples d'applications

Voici quelques exemples de réalisations du service S.I.G.U. obtenues grâce à l'exploitation de la maquette en 3D de la Ville.

#### Renouvellement urbain dans les îlots du "Pré-fleur" et "Jules Vallès"

La ville du Havre a mené à bien ces dernières années un vaste programme d'opérations de renouvellement urbain, en partenariat avec l'Agence Nationale du Renouvellement Urbain (ANRU). La 3D a permis d'accompagner ces opérations depuis l'établissement du programme jusqu'à la concertation et la communication avec les habitants, pour lesquels elle a donné des résultats remarquables (Figure 8).



Figure 8. Réaménagement de l'îlot "Jules Vallès".



Figure 9. Simulation d'embellissement de la "Rue de Paris" avec des stores.



Figure 10. Simulation de terrasses.

#### Stores de la "Rue de Paris"

Il s'agissait de simuler la mise en place de stores sous les arcades de la "Rue de Paris" afin de vérifier la pertinence de cette action d'embellissement de la Ville. Un film d'animation a été réalisé à cet effet. Il a également permis une concertation avec les commerçants qui étaient associés à l'opération (Figure 9).

#### Aménagement de terrasses sur la "Rue Racine"

Dans le même esprit, la 3D a été utilisée dans le cadre d'une réflexion portant sur la mise en place de terrasses sur une rue piétonne. Une simulation 3D a permis de visualiser l'impact de ces terrasses et de vérifier si leur ensoleillement serait suffisant (Figure 10).



Figure 11. Projet de transport en commun en site propre.





Figure 12. Projet des jardins suspendus.



### Projets de Transport en Commun en Site Propre (TCSP) et d'urbanisation du plateau nord-ouest

La Ville du Havre et la CODAH étudient actuellement la mise en place d'un TCSP (de type tramway) qui devrait voir le jour dans plusieurs années. La 3D va accompagner ce projet. Elle a commencé à être mise à contribution pour l'étude de la traversée des voies existantes (Figure 11).

### Reconversion du "Fort de Sainte-Adresse"

Le fleurissement de la Ville du Havre est réalisé en régie par la Direction des Espaces-Verts, qui a conçu un superbe projet de réaménagement d'un ancien fort militaire afin d'y accueillir les serres municipales de production ainsi que des serres d'exposition (Figure 12).

## Perspectives

Les évolutions prochaines de la mise en œuvre de la 3D à la Ville du Havre devraient porter principalement sur l'accessibilité aux données 3D. Le défi à relever porte sur la démocratisation de l'exploitation de ces données, au même titre que des autres données géographiques de référence de notre SIG. Au sein de la collectivité tout d'abord, il faut mettre en place la possibilité pour les services de pouvoir accéder à la maquette 3D pour la consulter et l'exploiter. A cette fin, le SIG constitue un premier outil, qui cependant est insuffisant car son usage est réservé aux seules stations de travail équipées. Au-delà de l'usage interne, il semble très important de pou-



Figure 13. Un aperçu du futur outil web de visualisation du Havre en 3D.

voir offrir la possibilité au grand public de pouvoir s'approprier ce nouveau mode de découverte du territoire, à l'instar des possibilités offertes par Google Earth ou le Géoportail 3D. Plusieurs collectivités ont d'ailleurs déjà franchi ce palier et ont mis en ligne sur internet des outils permettant de visualiser leur maquette 3D (Figure 13). Enfin, l'extension de notre maquette en 3D sur l'ensemble du territoire de l'agglomération est envisagée, à terme, par la CODAH dans le cadre de la mise en œuvre de son SIG communautaire.

## Conclusion

A la Ville du Havre, l'intérêt de la démarche de modélisation en 3D de la Ville a pu être établi et confirmé dans de nombreux domaines. On observe aujourd'hui une certaine maturité des technologies qui doit inciter à se lancer dans le projet de constitution de ce qui semble être destiné à devenir la donnée géographique de référence de l'avenir.

Ce serait une erreur de réduire la 3D à un simple produit de communication car les enjeux de la donnée 3D dépassent largement cette seule exploitation.

L'utilisation des techniques de modélisation 3D produit un fort effet attractif, du fait, certainement, de la dimension de haute technologie et de l'image de modernité qu'elle renvoie à juste titre.

Il convient donc de faire preuve d'une grande déontologie dans leur mise en œuvre afin de ne pas enjoliver artificiellement la réalité ou les projets mis en scène, que cela soit à des fins d'aide à la décision ou de communication.

## Remerciements

Je tiens à remercier la Ville du Havre qui soutient depuis le début cette démarche innovante de modélisation de la Ville en 3D, le service S.I.G.U. en général et M. Anthony Guérout (responsable de l'activité 3D), en particulier, pour la qualité du travail qui a été accompli pour parvenir aux résultats actuels ainsi que pour leur collaboration au présent article. ●

## Contact

### Olivier BANASZAK

Ingénieur en chef – Chef du service SIGU de la Ville du Havre  
olivier.banaszak@ville-lehavre.fr

### Mathieu KOEHL

Maître de conférences – INSA de Strasbourg  
mathieu.koehl@insa-strasbourg.fr

## ABSTRACT

**Key words :** 3D modelling, project, city, communication, decision making

*The concept of a 3D model for the management of the City of "le Havre" has been defined since 8 years. Nowadays, the whole city is available in 3D. The paper retraces the history of the constitution of the 3D database, the different steps of the project and data formats, as well as tools and concepts. Ideas for the development of new functionalities in the future are described.*