

---

# Saisie semi-automatique de bâtiments 3D dans une Base de Données à Représentations Multiples

## Vers une approche intégrée

**Benoit Frédéricque\*\*\*,\*\*\*—Sylvie Daniel\*\*—Yvan Bédard\*\*\*—Nicolas Paparoditis\*\*\*\***

\* Chaire de Recherche Industrielle CRSNG du Canada en bases de données géospatiales décisionnelles

\*\* Centre de Recherche en Geomatique et Département des Sciences Géomatiques, Université Laval, Québec, Canada

benoit.fredericque.1@ulaval.ca; sylvie.daniel@scg.ulaval.ca,

[yvan.bédard@scg.ulaval.ca](mailto:yvan.bédard@scg.ulaval.ca)

\*\*\* DVP-GS, Equipe de Recherche & Développement, 3645, boulevard Sainte-Anne, Beauport (Qc) G1E 3L1 Canada – benoit.fredericque@dvp-gs.com

\*\*\*\* Laboratoire MATIS, Institut Géographique National, 4, avenue Pasteur 94165 Saint-Mandé, FRANCE – [nicolas.paparoditis@ign.fr](mailto:nicolas.paparoditis@ign.fr)

---

*RÉSUMÉ. Le peuplement de BDRM-3D (Bases de Données à Représentation Multiple 3D) est de plus en plus requis pour supporter des applications avancées de cartographie sur demande et d'analyse décisionnelle géospatiales. Cet article présente une nouvelle approche de saisie photogrammétrique en représentation multiple visant à peupler les bâtiments d'une BDRM3D. Le processus proposé traite simultanément l'extraction des Géométries Détaillées (GD) et des Géométries Simplifiées (GS). Il est semi-automatique et tire profit d'une intervention rapide de l'opérateur au début du processus pour améliorer les performances des traitements automatiques. Cet article présente les motivations de ce projet, le situe par rapports aux travaux existants, propose une architecture de système adaptée aux besoins ainsi que les résultats préliminaires.*

*ABSTRACT. 3D MRDB (Multi Representation Data Base) population is more and more required to support advanced cartographical applications and advanced geospatial decisional analysis. This paper presents a new photogrammetric approach regarding multiple representation acquisition process to populate the buildings of a 3D MRDB. The suggested process tackles simultaneously the Detailed Geometries (DG) extraction and the Simplified Geometries (GS) extraction. The semi-automatic process takes benefits of a quick operator intervention, at the process beginning, to improve the automatic process performances. This paper describes the project motivation, situates it regarding existing work, proposes a system architecture adapted to the needs and introduces preliminary results.*

*KEYWORDS: Bases de données Geospatiales, représentations multiples, photogrammétrie, bâtiments, connaissances a priori.*

*KEYWORDS : Geospatial databases, multiple representations, photogrammetry, buildings, a priori knowledge.*

## 1. Introduction

Le développement des technologies de l'information au cours des deux dernières décennies a révolutionné l'accessibilité et l'utilisation des données géographiques tant au niveau des domaines d'utilisation que des types de données géographiques utilisées.

D'une part, l'exploitation d'outils géomatiques a permis de dépasser le cadre de la simple production cartographique et touche désormais des applications de bases de données géographiques dans de nombreux domaines tels que l'urbanisme, l'environnement ou encore le géomarketing. L'arrivée d'internet quant à elle a permis de démocratiser l'accès à l'information géographique en amenant la cartographie dynamique (ex : MapQuest), l'imagerie aérienne et satellitaire (ex. GoogleEarth), la modélisation urbaine 3D<sup>1</sup> (ex : GoogleEarth, VirtualMap) et les bases de données géographiques (ex : utilisation de bases de données de bien immobiliers couplée à GoogleEarth, [www.remax-quebec.com](http://www.remax-quebec.com)) dans les foyers en quelques clics. Le caractère spatial de l'information (80% des systèmes d'information ont une référence spatiale) (Franklin 1992) est de plus en plus pris en compte (Bédard, Rivest et al. 2006), ce qui se traduit par des besoins plus importants en bases de données géographiques et en outils d'analyse et de visualisation de données géographiques.

D'autre part, les données géographiques tendent de plus en plus à incorporer la troisième dimension à part entière. Ceci tient du fait que certaines analyses nécessitent une prise en compte des élévations, hauteurs et formes complètes (ex : études d'impact visuel, études phoniques, géologie, hydrogéologie...) et du fait que les représentations 3D de l'espace sont souvent plus faciles à interpréter par les non experts. Toutefois, si cette tendance est marquée dans la communauté scientifique de la géomatique (CVSD 2004-2008; Larrivée, Bédard et al. 2006; Saux et Billen 2006), les données disponibles aujourd'hui sont majoritairement 2D.

En plus de se limiter majoritairement à des représentations 2D, les applications de cartographie dynamique disponibles aujourd'hui comportent des limitations notamment en termes de personnalisation et d'interaction. Les solutions de cartographies en ligne actuelles permettent d'accéder à des cartes préétablies à des échelles spécifiques, définies selon des spécifications génériques qui ne peuvent être modifiées par l'utilisateur. Les fonctionnalités offertes aux utilisateurs se limitent alors à des fonctionnalités de navigation (d'une zone d'intérêt à une autre et d'une échelle à une autre) et d'ajout ou de suppression des thèmes à afficher. Ces degrés de liberté peuvent s'avérer insuffisants si l'on souhaite personnaliser l'information

---

<sup>1</sup> La notion de 3D est souvent ambiguë dans la littérature. Dans cet article nous nous référons aux dénominations proposées dans (Larrivée, Bédard et al. 2006) et distinguerons les dimensions de l'univers dans lequel est positionné l'objet des dimensions liées à sa forme. Nous considérons un objet comme 3D si celui-ci est volumétrique et nécessite donc trois axes pour être défini.

géographique proposée en fonction de la demande de l'utilisateur ou du support qu'il utilise (ex : son ordinateur ou son téléphone cellulaire). On parle alors de « cartes à la demande ». Pour améliorer cette réponse aux besoins actuels et émergents, plusieurs travaux suggèrent d'être en mesure de personnaliser la création de cartes en temps réel en permettant de personnaliser son contenu en influant sur le choix des représentations (niveau d'abstraction, sémiologie) au niveau de l'instance<sup>2</sup> (Bernier, Bédard et al. 2003). Il pourrait par exemple s'agir de proposer une représentation plus détaillée pour certaines occurrences<sup>3</sup> que pour d'autres selon l'application. Un usager qui cherche à définir son itinéraire pourrait souhaiter avoir une description plus détaillée du bâtiment où il doit se rendre et des éléments constituant des repères visuels facilement identifiables sur son trajet (de telles stratégies sont d'ailleurs fréquentes sur les cartes touristiques identifiant les principales attractions d'une ville, et ceci fréquemment en 3D). Par ailleurs, la mise en œuvre d'outils avancés d'analyse décisionnelle peut aussi requérir de modifier en temps réel des représentations cartographiques au niveau de l'instance afin d'aider l'utilisateur dans son analyse. En effet, dans le cas d'outils d'analyse spatiale en ligne (Spatial On-Line Analytical Processing, SOLAP) (Bédard, Rivest et al. 2006) on souhaite d'une part adapter en temps réel la représentation cartographique en fonction des requêtes de l'utilisateur et d'autre part permettre à l'utilisateur d'interagir avec les éléments représentés sur la carte en lui permettant de passer d'un niveau de détail à un autre pour une occurrence donnée (opérations de forage). Pour de telles applications dites analytiques, il est nécessaire de gérer explicitement les différentes géométries au niveau des instances. La création de « cartes à la demande » en temps réel, en permettant de personnaliser son contenu en influant sur le choix des représentations au niveau de l'instance, est donc un enjeu pour les applications de cartographie dynamique mais aussi pour les applications d'analyse décisionnelles.

La mise en œuvre de telles solutions requiert de fournir à la demande des représentations géométriques d'objets géographiques à différents niveaux d'abstraction. Il faut donc disposer de représentations détaillées et être en mesure de les généraliser automatiquement en temps réel. L'obtention de géométries détaillées (GD) de bâtiments se fait généralement par procédés photogrammétriques pour des considérations de coût et de faisabilité. L'automatisation de ces processus a motivé de nombreux travaux de recherche afin de réduire l'implication de l'opérateur humain (source de surcoût) dans les traitements et est un axe de recherche toujours actif aujourd'hui (Balsavias 2004).

La généralisation automatique a aussi motivé de nombreux travaux de recherche. Comme l'avaient déjà mentionné (Ceconi, Weibel et al. 2002; Ruas 2002), il n'existe aujourd'hui aucune solution qui permette une généralisation automatique

---

<sup>2</sup> Objet unique appartenant à une classe d'objets. Par exemple, l'édifice sis « au 143 rue St Jean » est une instance de la classe « bâtiment »

<sup>3</sup> Synonyme d'instance.

complète en temps réel. Afin de contourner ce problème plusieurs chercheurs ont proposé d'utiliser des **B**ases de **D**onnées à **R**éprésentations **M**ultiples (BDRM) (Weibel et Dutton 1999; Bédard 2004; Bernier et Bédard 2005). Il s'agit alors de stocker plusieurs représentations de mêmes objets géographiques à différents niveaux d'abstractions (ou, en de plus rares cas, pour un même niveau d'abstraction mais à des fins différentes). L'exploitation de BDRM, combinée à l'utilisation efficace de liens explicites entre les différentes géométries d'un même objet géographique, permet alors d'offrir un niveau de personnalisation et de navigation au niveau de l'instance. (ex : prototype UmapIt) (Bernier, Bédard et al. 2005).

L'utilisation de BDRM permet donc de contourner certaines difficultés liées à la généralisation à la volée mais implique d'autres difficultés concernant leur peuplement. Il existe trois moyens de peupler une BDRM en liant les géométries de mêmes objets géographiques : (1) la généralisation de géométries détaillées complétée par la conservation du lien entre la géométrie détaillée et les géométries généralisées, (2) l'appariement géométrique et sémantique de différentes sources à différentes échelles, ce qui construit le lien entre les représentations à différentes échelles de la même occurrence d'objet, (3) l'acquisition à la source en représentation multiple (ex. numérisation 2D RM de carte papier, photogrammétrie 3D à RM). Puisque les deux premières méthodes demandent beaucoup d'assistance humaine et semblent encore faire face à des limites insurmontables depuis quelques années, nous avons également introduit l'acquisition à la source en représentation multiple et c'est celle-ci qui est à l'origine de cet article. Ces trois approches de peuplement de BDRM vont être précisées ci-après.

L'obtention des géométries simplifiées par généralisation automatique serait la solution idéale dans la mesure où les conditions requises pour la mettre en œuvre se limiteraient à l'obtention du jeu de données détaillées et qu'elle permettrait de créer automatiquement les liens entre les différents niveaux de détails. Malheureusement malgré de nombreux travaux et des progrès importants, il n'existe pas aujourd'hui de solution totalement automatisée pour effectuer la généralisation (Sabo, Cardenas et al. 2005). La généralisation est un processus qui implique aujourd'hui l'opérateur humain dans une large proportion, ce qui implique des problèmes de coûts.

L'appariement de données géométriques et sémantiques a motivé de nombreux travaux de recherche (Badard et Lemarié 2002). Les problématiques associées sont nombreuses. L'appariement de données produites par des producteurs de données différents selon des spécifications et des ontologies différentes implique de devoir comparer des données de différents types géométriques (points, lignes simples, polygones, ...) correspondant à des critères de sélection différents (ex. taille du plus petit élément à saisir, largeur minimale, intermittent/continu) et répondant à des appellations différentes (ex : routes principales vs route nationales). De plus, ces sources ne sont que rarement à jour de façon synchronisée. Le lecteur pourra se référer à (Bernier et Bédard 2005) où la problématique de la constitution de l'entrepôt de données utilisé dans le cadre du projet GEMURE (GEMURE 2002-2005) est décrite dans le détail et illustre parfaitement les difficultés associées au

peuplement de BDRM par appariement géométrique et sémantique de différentes sources de données. De plus, la condition préalable de disposer des différentes sources peut constituer un problème de coût ou de faisabilité. Le peuplement de BDRM par intégration de données requiert donc aussi l'intervention d'opérateur humain dans une large proportion et présente d'importants problèmes non-techniques pratiquement impossibles à résoudre.

L'acquisition en représentation multiple a été proposée comme troisième approche de peuplement de BDRM en traitant notamment de la saisie des **Géométries Simplifiées (GS)** en 2D à l'aide de patrons géométriques multi-échelles (Cardenas 2004). Le processus proposé repose sur l'exploitation de **Géométries Détaillées (GD)** déjà extraites auxquelles on associe a posteriori des patrons multi-échelles. L'exploitation d'autres données de référence 2D (ex : cartes scannées, orthophotographies) pour les cas où des GD ne sont pas disponibles a aussi été proposée. Le concept d'objet auto-généralisant a par ailleurs été développé pour dépasser certaines limitations liées à l'utilisation de patrons multi-échelles (Sabo 2004). Cette troisième approche est encore en voie de développement à notre centre de recherche pour les objets 2D et n'a jusqu'à présent pas été mise en œuvre dans un contexte de production.

Le peuplement de BDRM, phase nécessaire pour être en mesure de supporter des applications avancées de cartographie à la demande et d'analyse en ligne de données géographiques, implique donc dans une large proportion l'intervention d'opérateurs humains pour l'obtention des géométries détaillées et simplifiées. La réduction de l'importance du rôle de l'opérateur humain dans le peuplement de BDRM en général et plus particulièrement de BDRM3D (répondant à un éventail plus large d'applications : cf paragraphe 3) est donc un enjeu majeur émanant des applications les plus récentes exploitant la cartographie.

Cet article présente une nouvelle approche de saisie photogrammétrique en représentation multiple visant à peupler une BDRM3D de bâtiments. Le processus proposé traite simultanément de l'extraction des **Géométries Détaillées (GD)** et de l'extraction des **Géométries Simplifiées (GS)**. Il est semi-automatique et tire profit d'une intervention rapide de l'opérateur au début du processus pour améliorer les performances des traitements automatiques. Il traite ainsi du processus de peuplement de BDRM3D dans sa globalité tout en visant à réduire le niveau d'intervention humaine.

L'article est organisé de la façon suivante. La partie « Travaux Relatifs » présentera dans un premier temps les concepts de patrons multi-échelles, d'objets auto généralisants, ainsi qu'un état de l'art des techniques d'extraction des géométries détaillées des bâtiments. Nous présenterons ensuite notre approche et illustrerons les avantages, du point de vue de l'automatisation, du traitement simultané des problématiques d'extraction des GD et des GS. L'architecture du système proposé pour la saisie en représentations multiples de bâtiments sera alors décrite et des résultats préliminaires seront présentés.

## 2. Travaux relatifs

### 2.1. *Acquisition en Représentation Multiple : Spécifications et outils*

#### 2.1.1. *Concept de Patron Géométrique et de Patron Multi-Echelles*

Un patron géométrique est défini comme : « un objet géométrique avec les caractéristiques géométriques typiques représentatives d'un grand nombre d'occurrences d'un phénomène cartographique ou d'une primitive géométrique. Cet objet peut s'adapter à la géométrie de ces occurrences pour différentes échelles et peut être réutilisé plusieurs fois » (Bédard 2004; Cardenas 2004). Cette définition s'appuie sur le constat que, dans les niveaux simplifiés, un grand nombre d'occurrences d'une classe d'objets ont des caractéristiques géométriques communes. Un même patron peut donc servir à définir les représentations géométriques de plusieurs occurrences en adaptant pour chacune d'elles les paramètres d'implantation du patron (ex : point d'encrage, orientation, longueur, largeur).

L'obtention de représentations multiples par acquisition implique de créer des géométries décrivant l'objet géographique à différents niveaux d'abstraction. Le concept de patron multi-échelles vise entre autre à faciliter cette démarche. Un patron multi-échelles est composé de plusieurs patrons géométriques, correspondant à différents niveaux d'abstraction liés les uns aux autres. Les patrons multi-échelles sont définis pour un domaine d'échelles correspondant aux géométries simplifiées qui est compris entre les domaines des géométries détaillées et celui de la symbologie pure. La [Figure 1](#) représente le patron multi-échelles 2D proposé par Cardenas dans le cas d'échangeurs autoroutiers. Ce patron multi-échelles est composé de deux patrons géométriques. La partie gauche de la figure représente quatre niveaux d'abstractions. Les deux patrons géométriques du centre correspondent au patron multi-échelles. Les cinq lignes verticales représentent le lien constitué par le patron multi-échelles entre les deux patrons géométriques. La partie droite illustre à l'aide de quatre représentations à quatre échelles différentes le résultat obtenu lors d'une saisie en représentation multiple à l'aide de ce patron.

Tous les patrons géométriques contenus dans un patron multi-échelles sont liés les uns aux autres (cf. lignes verticales entre les deux patrons géométriques de la figure 1). La définition des paramètres d'implantation, communs à tous les patrons géométriques composant le patron multi-échelles (ex. orientation), se fait en implantant le patron du niveau le plus détaillé du patron multi-échelles.

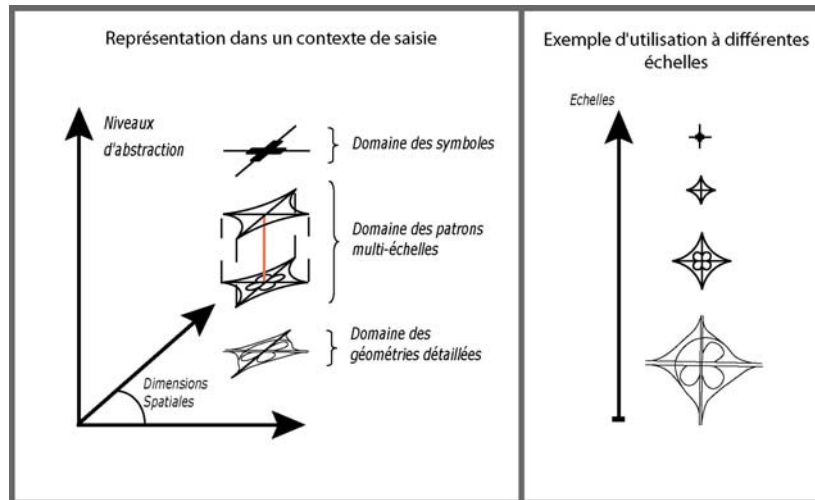


Figure 1 : Patron multi-échelles défini dans le cas d'échangeurs routiers par Cardenas

La saisie en représentation multiple reposant sur l'exploitation de patron multi-échelles telle que définie par (Bédard 2004; Cardenas 2004) permet donc de définir plusieurs représentations géométriques d'une occurrence en paramétrant simultanément les patrons géométriques contenus dans le patron multi-échelles. Celle-ci implique quatre principales étapes, plus simples qu'une généralisation manuelle :

- identifier le patron multi-échelles dans le gabarit de patrons (pour le glisser sur la carte ou photographie aérienne) ;
- supprimer ou spécialiser certaines primitives (i.e composant élémentaire du patron) le cas échéant ;
- ancrer le patron, i.e. définir ses paramètres d'implantation (orientation, taille, points d'ancrage) en manipulant le niveau le plus détaillé du patron multi-échelles ;
- lier par une clé de base de données le patron multi-échelles à la géométrie détaillée de l'objet.

Suite à ces opérations, un objet possède plusieurs géométries pouvant servir de substitut à la généralisation entièrement automatique qui devrait être effectuée à la volée pour supporter les applications cartographiques les plus récentes. Les algorithmes complexes de généralisation sont alors remplacés par une simple navigation dans la base de données.

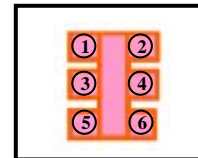
### 2.1.2. *Les Objets Auto Généralisant*

Sabo a enrichi le concept de patron multi-échelles développé par Cardenas et a introduit le concept d'objet auto généralisant (**Self Generalisable Object**) appliqué au cas des bâtiments (Sabo 2004). Les SGO reposent sur l'exploitation conjointe de patrons géométriques, de contraintes d'intégrité spatiale et d'algorithmes « simples » de généralisation. Les SGO peuvent être appréhendés comme des objets qui ont l'aptitude de fournir à la demande et très rapidement une représentation géométrique donnée d'un objet géographique pour différents niveaux d'abstraction. L'utilisation de SGO permet ainsi de fournir des représentations pour n'importe quel niveau d'abstraction (grâce aux algorithmes simples de généralisation appliqués aux patrons) alors que le patron multi-échelles ne couvrent que les niveaux d'abstractions définis préalablement. Les SGO sont également plus flexibles car leurs contraintes d'intégrité spatiale peuvent tenir compte des objets voisins (ex. bâtiment près d'une rue) ou de leur contexte (ex. bâtiments alignés).

Au moment d'écrire cet article, le concept de SGO est en cours de développement pour la cartographie 2D et il touche d'autres aspects que la seule acquisition en représentations multiples. Par conséquent, la description ci-après, qui vise à définir les spécifications de saisie en représentations multiples à l'aide de SGO, se limite à la partie pertinente compte tenu du projet.

La construction par saisie en représentation multiple d'une BDRM exploitant le concept de SGO implique alors deux principales phases : la création d'une base de données de SGO et la saisie des SGO pour la base de données du projet. La création d'une BD de SGO implique de définir les patrons géométriques utilisés, leurs algorithmes de généralisation ainsi que leurs contraintes d'intégrité spatiale. Le lecteur pourra se référer à Sabo pour plus de détails sur la détermination des patrons géométriques. La saisie des SGO est alors similaire à la saisie définie dans le cas des patrons multi-échelles (i.e. choisir le SGO prédéfini et implanter son patron géométrique le plus détaillé). Elle peut en plus impliquer la définition de groupes de SGO qui doivent respecter des contraintes de généralisation.

En se basant sur l'étude des géométries des bâtiments sur la zone test du projet GEMURE, Sabo a suggéré l'utilisation de patrons géométriques découlant de la simplification d'un unique patron initial représenté sur la [Figure 2](#). L'auteur propose ainsi de définir chacun des patrons identifiés en supprimant certaines primitives (numérotées de 1 à 6 sur la figure) au patron initial. Un patron géométrique en forme de « T » peut ainsi être défini simplement en supprimant les primitives 1,2,3 et 4 à l'unique patron initial.



[Figure 2](#) : Unique patron géométrique initial proposé par Sabo dans le cas des bâtiments.



## 2.2. Automatisation de l'extraction des géométries détaillées des bâtiments

Les techniques photogrammétriques d'exploitation d'images stéréoscopiques acquises à l'aide de capteurs aéroportés ou satellitaires constituent le moyen le plus utilisé pour extraire les GD relatives aux bâtiments. Ces techniques ont joué un rôle majeur dans le développement de la géomatique en réduisant les coûts d'acquisition des données géospatiales. Toutefois, celles-ci requièrent encore aujourd'hui l'intervention d'opérateurs humains dans une large proportion.

Réduire le rôle de l'opérateur humain dans ces processus a motivé énormément de travaux de recherche durant les dernières décennies et cela continue aujourd'hui. Le processus de numérisation à partir d'images stéréoscopiques, (processus de reconnaissance de forme et de reconstruction) est un processus de vision extrêmement complexe (Theodoridis et Koutroumbas 2006). Sa mise en œuvre automatique fait appel à des traitements de bas niveaux (extraction de caractéristiques des images, par exemple des contours) ainsi qu'à des traitements de plus hauts niveaux permettant d'interpréter les caractéristiques extraites.

Nous présentons ci-après un aperçu des travaux réalisés sur l'extraction des géométries des bâtiments à l'aide de données issues de capteurs aéroportés et satellitaires. Nous avons structuré ces travaux selon trois critères que nous jugeons décisifs face à la problématique d'extraction des bâtiments qui sont :

- les données sources utilisées (qui influent directement sur les caractéristiques que l'on peut extraire et leur nature)
- le niveau d'automatisation recherché (aptitude de raisonnement recherché au niveau du système informatique)
- les connaissances a priori (qui servent d'élément de base au processus de raisonnement ou qui permettent de restreindre l'étendue du problème à résoudre durant la reconstruction)

### 2.2.1. Sources de données utilisées

Deux principales sources de données sont utilisées pour extraire les GD des bâtiments : (1) des images obtenues à l'aide des capteurs passifs ( ex : caméra photogrammétrique ), nous parlerons d'imagerie passive dans la suite du document pour faciliter la lecture; (2) des Modèles Numériques de Surface. Les MNS peuvent être obtenus par traitements stéréoscopiques d'imagerie passive (Pierrot-Deseilligny et Paparoditis 2006) ou encore à l'aide de capteurs actifs de type LIDAR.

Ces sources de données permettent en effet toutes deux d'extraire des informations géométriques à grandes échelles et peuvent être obtenues à l'aide de capteurs aéroportés ou satellitaires. L'exploitation directe de MNS, privilégiée dans (Vosselman et Dijkman 2001; Dash, Steinle et al. 2004) facilite l'automatisation de l'interprétation de la scène dans la mesure où l'information décrit directement la surface à reconstruire (Brenner 2000). Contrairement aux processus exploitant

directement de l'imagerie passive, les processus exploitant directement des MNS n'ont pas à transformer les caractéristiques extraites dans les espaces 2D des images vers l'espace terrain 3D. Cependant, l'utilisation seule de MNS semble impliquer certaines limites en terme de précisions ce qui n'est pas le cas de l'imagerie passive. Ce constat a motivé la mise en place d'approches mixtes tirant profit de la précision de l'imagerie passive et des facilités d'interprétation des MNS (Rottensteiner et Jansa 2002). D'autres approches mixtes ont été proposées combinant données vectorielles et imageries passives (Jibrini, Paparoditis et al. 2000) ou encore MNS et données vectorielles (Suveg et Vosselman 2004).

L'utilisation d'approches mixtes, augmentant le nombre de caractéristiques que l'on peut extraire des sources de données, influe de manière décisive sur la performance des approches mises en œuvre. L'utilisation de données vectorielles additionnelles (ex : données cadastrales caractérisant l'emprise au sol des bâtiments (Jibrini, Paparoditis et al. 2000)) qui constituent des caractéristiques déjà extraites est par ailleurs un moyen efficace d'améliorer les performances qui est trop souvent négligé (Mayer 2004).

#### 2.2.2. *Niveau d'automatisation*

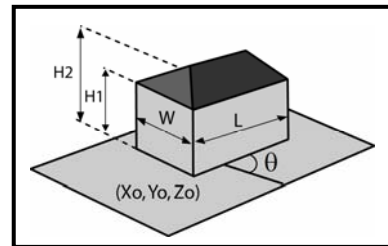
Les approches automatiques proposées dans (Baillard et Zisserman 2000; Suveg et Vosselman 2000; Rottensteiner et Jansa 2002; Sohn 2004) comme semi-automatiques proposées dans (Brenner 1999; Vosselman et Veldhuis 1999; Tseng et Wang 2003; Oriot et Michel 2004; Taillandier et Deriche 2004) ont motivé de nombreux travaux de recherche. Des résultats encourageants ont été obtenus parmi les approches automatiques développées. Toutefois, la difficulté que représente la reconstruction des bâtiments amène à penser que, dans la prochaine décennie, seules les approches semi-automatiques, avec une interaction de l'opérateur humain directive plutôt que correctrice, peuvent s'avérer plus performantes que les solutions totalement manuelles (Förstner 1999; Baltsavias 2004; Mayer 2004).

#### 2.2.3. *Connaissance a priori et saisie de la géométrie*

La notion de « connaissance a priori » peut porter sur différents aspects dans le processus de saisie. Dans (Baltsavias 2004), l'auteur considère que celle-ci peut porter : sur l'objet cible et son contexte, sur les données utilisées en entrée (résolution des images sources, spécification de saisie des données vectorielles disponibles), sur les méthodes de traitement applicables et enfin sur les mécanismes de contrôle utilisables. La grande majorité des approches utilisent des connaissances a priori sur les objets cibles mais à un degré plus ou moins important. Celui-ci peut varier d'une simple localisation approximative par l'opérateur comme c'est le cas dans (Oriot et Michel 2004; Taillandier et Deriche 2004), à l'introduction d'informations plus précises sur la géométrie de l'objet.

Dans (Fuchs et Le-Men 2000), des connaissances a priori sont introduites en exploitant comme référence une base de connaissances sur les structures

topologiques des bâtiments. Les relations topologiques entre les éléments extraits et ceux présents dans la base de connaissances sont comparées pour sélectionner certaines des hypothèses émises lors de l'extraction. Les approches utilisées dans (Brenner 1999; Vosselman et Veldhuis 1999; Suveg et Vosselman 2000; Tseng et Wang 2003) vont plus loin en introduisant, au début du processus de saisie, l'identification non ambiguë du modèle paramétrique correspondant au bâtiment à extraire. L'utilisation de modèles paramétriques est un des moyens permettant d'introduire des connaissances sur les géométries des objets que l'on cherche à extraire. Le principe est de définir une librairie de modèles qui sont caractérisés par leurs formes géométriques et une liste de paramètres (origine, orientation, échelle...). Un exemple de modèle paramétrique est proposé [Figure 3](#). Les éléments constituant cette librairie peuvent alors être utilisés pour caractériser les géométries d'instances en les utilisant seuls ou en les combinant avec des opérateurs logiques (union, intersection) dans le cas de géométries plus complexes. On parle alors de CSG (i.e Constructive Solid Geometry) (Tseng et Wang 2003). C'est par exemple le cas dans (Suveg et Vosselman 2004) où les auteurs supposent que tout bâtiment peut être décrit par combinaison de modèles paramétriques.



**Figure 3 :** Exemple de Modèle Paramétrique

L'introduction des connaissances a priori dans le processus de saisie des bâtiments n'est pas toujours explicite et porte généralement sur des caractéristiques géométriques du bâtiment. Peu d'approches suggèrent d'exploiter des connaissances a priori concernant les algorithmes à utiliser. On retiendra néanmoins que dans (Flamanc, Maillet et al. 2003; Oriot et Michel 2004) il est suggéré que ce soit l'opérateur qui sélectionne l'algorithme le plus adapté. Dans ce cas, la formalisation des connaissances a priori utilisées n'est pas explicite. Flamanc et al confèrent d'ailleurs l'apprentissage et l'évaluation des algorithmes à l'opérateur.

L'utilisation de connaissances a priori constitue un élément clé dans la réussite des processus d'extraction. Elle est par ailleurs jugée dans (Baltsavias 2004) comme la seule alternative viable vers le développement d'outils d'extraction opérationnels. En revanche, elle peut aussi limiter la portée d'une approche dès lors que les conditions supposées ne sont pas respectées, comme par exemple le fait que les toits soient plats (Oriot et Michel 2004) ou que tous les objets puissent être décrits par les modèles préétablis (Englert 1997; Fuchs et Le-Men 2000).

#### 2.2.4. Conclusion

Une part importante de la communauté scientifique considère que, dans le cas de l'extraction des bâtiments, seule les approches semi-automatiques sont en mesure de déboucher sur des résultats exploitables dans un contexte de production. Bien que l'automatisation complète des processus d'extraction des bâtiments reste un objectif que de nombreux travaux cherchent à atteindre, on notera que seules des approches semi-automatiques ont été jugées suffisamment performantes pour être intégrées dans des logiciels commerciaux (exemple : CC modeler, InJECT). L'exploitation de toutes les sources disponibles (ex : images, MNS, données vectorielles) et de connaissances a priori adaptées sont des facteurs améliorant les performances des approches.

### 3. Notre Approche

Nous proposons de peupler une BDRM3D de bâtiments en utilisant une approche semi-automatique qui repose sur l'introduction par un opérateur humain de connaissances au début du processus et qui exploite celles-ci pour extraire automatiquement et simultanément les géométries détaillées et simplifiées.

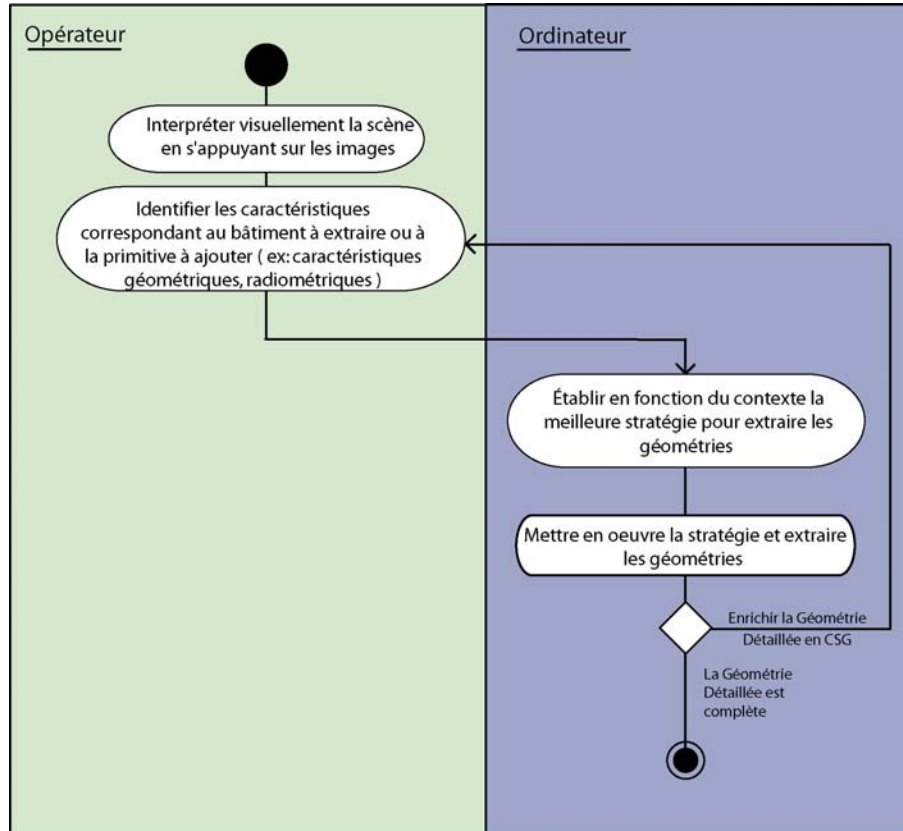
Le diagramme d'activités UML présenté ci-après (cf. [Figure 4](#)) décrit les étapes qui composent le processus de saisie en représentation multiple 3D proposé pour un bâtiment. La boucle ne concerne que les géométries détaillées. Dans le cas d'une saisie à très grande échelle, on peut par exemple vouloir ajouter des primitives pour décrire les fenêtres et les cheminées.

Il peut paraître paradoxal de commencer par solliciter l'opérateur humain alors que nous visons à réduire son implication dans le processus global de saisie. Toutefois, si l'on considère que l'intervention d'un opérateur dans les processus de saisie des géométries est nécessaire, il s'agit essentiellement d'un choix sur la manière d'exploiter son interaction. Il s'agit en effet de préférer opter pour une approche directive plutôt que corrective.

Nous considérons en effet que l'extraction des géométries détaillées (GD) et l'extraction des géométries simplifiées (GS) sont deux tâches extrêmement complexes qui ne peuvent être totalement automatisées. Par conséquent, nous proposons de réduire le rôle de l'opérateur humain de trois manières :

- en le sollicitant une seule fois pour traiter simultanément l'extraction des GD et l'extraction des GS;
- en exploitant des connaissances a priori pour gérer contextuellement les traitements automatiques d'extraction des géométries;
- en sollicitant l'opérateur uniquement pour des tâches simples et rapides d'exécution.

Ces trois moyens vont être précisés ci-après. L'architecture système proposée sera présentée ainsi que des résultats préliminaires.



**Figure 4 :** Diagramme d'activité UML décrivant les étapes du processus de saisie en représentation multiple proposé.

### 3.1. Réduction de l'implication de l'opérateur humain

#### 3.1.1. Extraction simultanée des géométries détaillées (GD) et des géométries simplifiées (GS) : Intégration des concepts de patron multi-échelles et de modèles paramétriques.

La saisie semi-automatique des GD et la saisie semi-automatique des GS, requièrent toutes deux que l'opérateur interprète la scène avant de pouvoir interagir. Nous proposons donc de solliciter l'opérateur pour interpréter la scène une seule fois et de traiter simultanément la saisie des GD et des GS.

L'analyse de la littérature révèle une proximité entre les concepts de patrons géométriques utilisés dans le cadre de la saisie des GS (i.e patron multi-échelles et SGO) et les modèles paramétriques définis dans le cas de la saisie des GD. Il s'agit en effet dans les deux cas de définir des formes préétablies dans une librairie et de se servir de celles-ci pour décrire les géométries d'objets géographiques spécifiques en définissant des paramètres d'implantation. Ces deux concepts diffèrent dans l'importance qui est accordée à la précision géométrique par rapport à la facilité d'utilisation dans un contexte de diffusion de données et de généralisation à la volée. Les patrons définis par Sabo privilégient en effet la vitesse de généralisation et la réduction des volumes de données à la fidélité géométrique.

#### 3.1.1.1. Notion de Patron d'Acquisition en Représentations Multiples

Nous suggérons de rapprocher ces deux concepts et d'étendre ainsi à la 3D le concept de patron géométrique défini dans (Sabo 2004) sur lequel s'appuient les patrons multi-échelles et les SGO. Partant de ce principe, nous proposons d'établir a priori une librairie de **Patrons d'Acquisitions en Représentations Multiples (PARM)**. Les PARM visent à faciliter la saisie en représentation multiple par procédés photogrammétriques. Ils couvrent les domaines des GD et des GS. Le niveau le plus détaillé d'un PARM est défini par un patron géométrique 3D privilégiant la fidélité géométrique à la vitesse de généralisation et à la réduction des volumes de données<sup>4</sup>. Les autres niveaux sont définis à l'aide de SGO et/ou de patrons multi-échelles liés a priori au patron géométrique 3D du niveau détaillé. Les patrons multi-échelles et les SGO inclus dans des PARM peuvent être 3D et 2D. Les PARM peuvent par ailleurs être groupés s'ils doivent respecter une même contrainte de généralisation (i.e. spécification de saisie à l'aide de SGO définie par Sabo cf. 2.1.2).

#### 3.1.1.2. Limites d'utilisation des PARM

Nous sommes conscients que l'utilisation de PARM ne peut pas couvrir tous les cas de figures et que tous les types de bâtiments ne peuvent pas être décrits a priori à l'aide de PARM. De plus, la définition des PARM sera probablement amenée à évoluer avec les évolutions futures du concept de SGO notamment au niveau de la prise en charge de la 3D. Nous pensons toutefois qu'ils sont pertinents pour un grand nombre d'occurrences et que de ce fait ils peuvent jouer un rôle majeur dans un système de saisie en représentation multiple. Des approches plus flexibles, combinant par exemple patrons géométriques 3D en CSG (cf. 2.2.3) et des SGO durant le processus (et non préalablement) devront être envisagées dans une phase ultérieure pour traiter les cas plus complexes.

---

<sup>4</sup> Un patron géométrique 3D privilégiant la fidélité géométrique à la vitesse de généralisation et à la réduction des volumes de données est similaire à un modèle paramétrique. Nous utiliserons dans la suite du document le terme patron géométrique 3D par souci de simplification.

### 3.1.2. *Connaissances a priori et gestion contextuelle des traitements*

#### 3.1.2.1. Le concept d'Instance-Driven SASS

La variabilité des types de sources exploitables (par exemple : images aériennes seules, images aériennes avec des données vectorielles...), des propriétés de ces sources (résolutions géométriques et radiométriques des images, précisions des données vectorielles) ainsi que celles des agglomérations à cartographier rend la mise en place d'approches automatiques génériques très difficile pour extraire les GD et les GS. Nous pensons, comme il l'est suggéré dans (Flamanc, Maillet et al. 2003) dans le cas des GD, qu'il est pertinent de sélectionner les algorithmes en fonction du contexte de l'instance traitée mais qu'en plus ceci doit être étendu aux choix des sources et aux paramétrages des algorithmes.

Nous suggérons de nous appuyer sur des informations introduites par l'opérateur humain au début du processus pour améliorer l'exploitation des traitements automatiques en sélectionnant automatiquement les sources, les traitements et les paramètres au cas par cas en fonction de l'objet géographique traité (**Instance-Driven Selection of the Algorithms Setting Sources**). L'exploitation de connaissances a priori est en effet un moyen pertinent selon nous de réduire la complexité du problème à résoudre (par exemple : en connaissant la forme de l'objet à extraire) mais aussi l'ampleur des possibilités à envisager (par exemple : réduisant l'espace de recherche).

#### 3.1.2.2. Introduire des connaissances ? Quelles connaissances et comment ?

La mise en œuvre d'une telle approche nécessite de disposer d'informations sur le contexte spécifique de chaque occurrence. Deux questions en découlent : quelles informations et comment les introduire ?

Les connaissances a priori sur les géométries des bâtiments sont probablement les connaissances les plus utilisées dans les approches mises en œuvre dans le passé. Nous supposons que, de la même manière que pour leurs caractéristiques géométriques (PARM), de grands nombres de bâtiments peuvent être regroupés en classes en fonction de leurs caractéristiques. Celles-ci peuvent porter sur leurs propriétés géométriques, sur leurs propriétés spectrales (couleurs et textures) comme sur leurs propriétés spatiales (relations et contraintes spatiales, corrélation entre les directions des bâtiments et les directions de routes).

Nous proposons d'identifier des caractéristiques récurrentes et de les regrouper préalablement à la saisie. L'identification de ces classes, préalablement au positionnement du PARM est un moyen simple et efficace, d'introduire des connaissances a priori sur l'objet à extraire.

Nous pensons par ailleurs que des informations introduites spécifiquement pour définir les géométries simplifiées d'objets géographiques peuvent être exploitées pour faciliter la saisie à l'aide de PARM. Par exemple, l'introduction d'une

contrainte de généralisation d'alignement, commune à un groupe de bâtiments, peut permettre de déterminer la direction d'un bâtiment préalablement à l'extraction de ses géométries et ainsi faciliter son extraction en réduisant l'espace de recherche correspondant à l'orientation (ex : déduire du premier bâtiment saisi une valeur approchée de la direction des autres bâtiments composant le groupe).

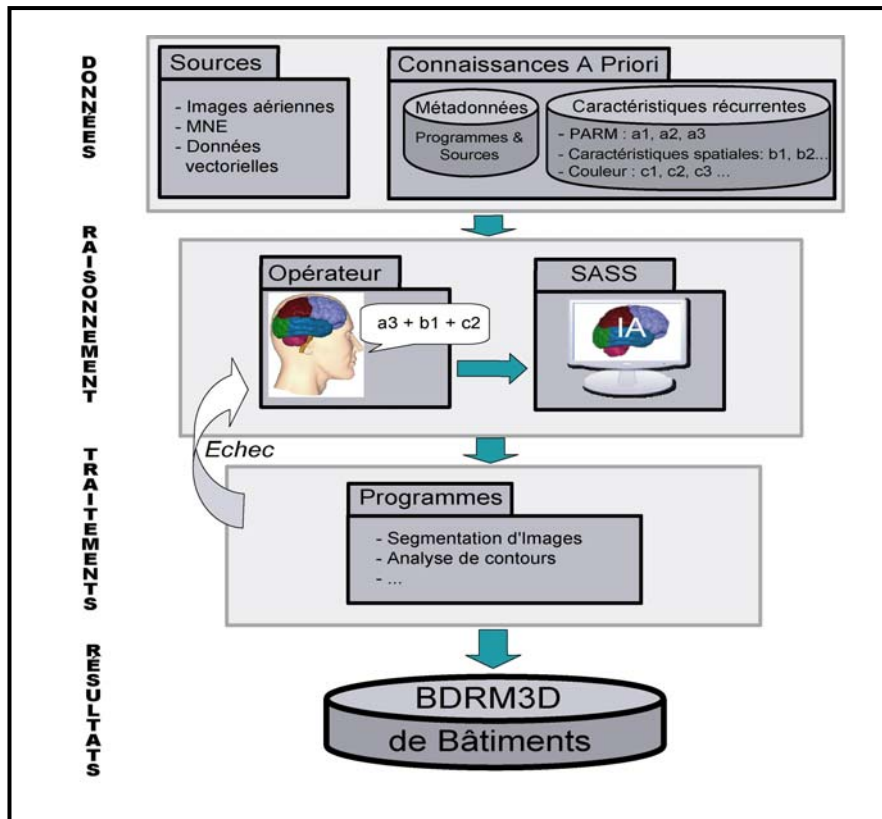
### 3.1.3. *Solliciter l'opérateur pour des tâches simples et rapides d'exécution*

Le fait que l'interprétation d'une scène géographique, à partir d'images à hautes résolutions, soit une tâche particulièrement complexe à automatiser et qui paradoxalement soit très simple et rapide pour un opérateur humain, est reconnu aujourd'hui. De la même manière, l'analyse multicritères de données numériques et le pilotage de programmes est une tâche qui peut s'avérer difficile et longue dès lors que l'opérateur n'est pas spécialiste du domaine (Thonnat, Moisan et al. 1999). Dans notre contexte, disposant d'images à haute résolution et souhaitant analyser plusieurs critères pour définir la stratégie optimale d'implantation des PARM, nous pensons qu'il est pertinent de solliciter d'une part l'opérateur humain pour interpréter la scène et d'autre part un opérateur logiciel pour l'analyse du contexte (définition de la stratégie optimale) et la supervision des programmes (mise en œuvre de cette stratégie). Nous proposons donc de limiter l'intervention de l'opérateur humain à l'introduction d'informations sur l'objet à extraire et sur son contexte.

## 3.2. *Architecture du système proposé*

L'architecture du système de saisie de bâtiments en Représentations Multiples 3D proposé, illustré [Figure 5](#), est composée de trois niveaux qui interviennent successivement dans le processus de définition des géométries d'un bâtiment. Les données vont dans un premier temps de la couche DONNÉES à la couche RAISONNEMENT. La scène est alors interprétée par l'opérateur humain (i.e. il reconnaît les principales caractéristiques du bâtiment à extraire) qui introduit des informations sur le bâtiment à saisir (ex. PARM de type 1, toit rouge). L'ensemble des connaissances a priori introduites est ensuite analysé automatiquement par l'opérateur logiciel pour définir la stratégie à mettre en place pour extraire les géométries (ex : déduire la direction de la route des informations vectorielles, effectuer une analyse des gradients selon cette direction puis segmenter en exploitant l'information colorimétrique). Cette stratégie, influant sur le choix des sources, des algorithmes et des paramètres, est ensuite automatiquement appliquée dans la couche TRAITEMENTS. Les géométries obtenues sont alors enregistrées dans la BDRM3D. Les cas d'échec sont traités en sollicitant à nouveau l'opérateur humain.





**Figure 5 :** Architecture du système proposé

### 3.2.1. La couche DONNÉE

La couche de données contient deux types de données : les données sources et les connaissances a priori.

Les données sources, par exemple des images aériennes et des données vectorielles 2D, permettent à l'opérateur d'interpréter la scène et aux algorithmes de positionner les PARM. Elles doivent donc avoir des résolutions permettant de répondre aux spécifications de saisie des GS (variables d'un projet à un autre, nous considérons que ces résolutions varient de quelques centimètres à un mètre suivant le projet). Des images à hautes résolutions ainsi qu'un modèle numérique de surface (éventuellement déduit automatiquement des images) doivent au minimum figurer parmi les sources de données. Celles-ci peuvent comporter de manière additionnelle des données vectorielles relatives aux bâtiments et aux réseaux routiers.

Deux catégories de connaissances a priori sont disponibles : celles relatives aux caractéristiques récurrentes des bâtiments et celles relatives aux ressources

exploitables pour extraire les géométries des bâtiments. Les caractéristiques récurrentes concernent les géométries des bâtiments (PARM cf. 3.1.1) mais aussi leurs propriétés radiométriques (ex : couleurs, textures) ainsi que leurs relations et contraintes spatiales (ex : corrélation entre les directions principales des bâtiments et celles des routes, contraintes d'intégrité spatiale associée à un SGO). Les connaissances relatives aux ressources exploitables correspondent aux métadonnées sur les sources (ex : résolution des images, capteurs utilisés, échelles des données vectorielles) et aux performances des algorithmes qui peuvent être utilisés pour les exploiter (ex : vitesse d'exécution, précisions obtenues, fiabilité).

### 3.2.2. *La couche RAISONNEMENT*

Le raisonnement est réalisé par deux composants qui interviennent successivement. Le premier, l'opérateur humain, effectue une interprétation de la scène basée sur son observation des images. Il transmet alors son interprétation de la scène au composant de raisonnement automatique, le composant Intelligence Artificielle, en identifiant la classe de l'instance traitée (ex : type de PARM, contrainte de généralisation à respecter, type de modèle radiométrique). L'analyse du contexte est alors réalisée par le composant IA en fonction des sources disponibles et de leurs propriétés ainsi qu'en fonction des connaissances a priori sur l'instance introduite. Cette analyse automatique débouche sur l'élaboration d'une stratégie d'exploitation des ressources (ex : sources, algorithmes et paramètres de réglages) afin de déterminer les paramètres d'implantation des PARM.

### 3.2.3. *La couche TRAITEMENT*

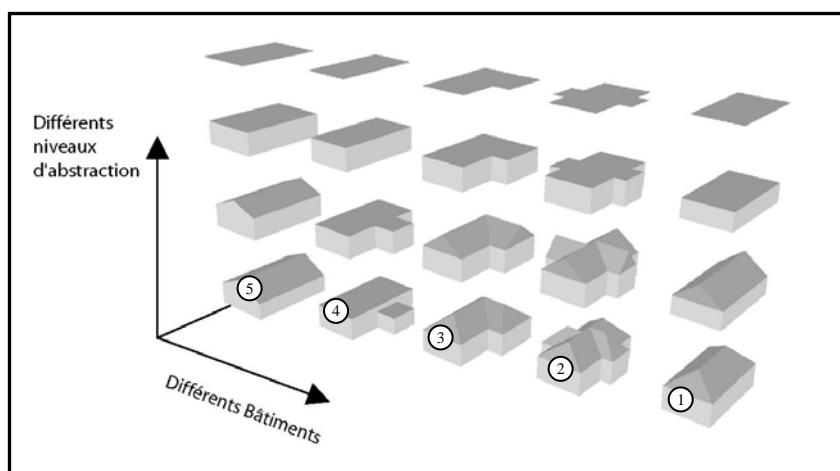
La couche traitement comporte de simples prétraitements des sources pour en faciliter l'exploitation ultérieure (ex : filtres passe bas, filtres passe hauts, opérateurs de segmentation), comme des traitements dédiés au positionnement de PARM (ex : opérateurs exploitant les résultats d'une segmentation pour déduire les paramètres d'implantation des PARM). Ces traitements se caractérisent par leur capacité de paramétrage en fonction du contexte et par leur faible temps d'exécution permettant de minimiser les temps d'attente de l'opérateur.

## 3.3. *Résultats préliminaires et avancement du projet*

### 3.3.1. *Prototype manuel*

Le projet est en cours de développement. Dans la mesure où le concept de SGO est récent et ne traite pas encore de représentations multiples en 3D, nous avons temporairement restreint la définition des PARM à deux niveaux. D'une part, les GS 3D contenues dans les PARM sont définies uniquement à l'aide du concept de patron multi-échelles 3D et d'autre part les GS 2D sont définies à l'aide des SGO 2D liés aux patrons multi-échelles 3D.

Nous avons pour l'instant défini une librairie composée d'une vingtaine de PARM (Patrons d'Acquisition en Représentation Multiple). La Figure 6 représente cinq PARM ( numérotés de un à cinq) parmi ceux que nous avons identifiés en nous basant sur l'étude de zones test. Chacun des PARM est composé de quatre éléments liés les uns autres : trois patrons géométriques 3D et un SGO 2D représenté dans la figure par son patron géométrique 2D. Les patrons géométriques 3D utilisés pour définir les GS 3D ont été définis par un opérateur humain. La définition formelle de règles et de contraintes de généralisation 3D dépasse le cadre de ce projet.

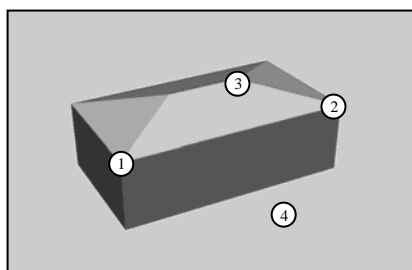


**Figure 6 :** Exemple de PARM identifiés pour faciliter la saisie en représentation multiple

Un processus de saisie manuelle, exploitant des PARM, a été implanté dans le logiciel photogrammétrique de restitution numérique DVP Vectorization® (<http://www.dvp-gs.com/>). La version actuelle permet de déterminer les paramètres d'implantation des PARM en fonction de points mesurés en 3D par un opérateur humain dans une vue stéréoscopique selon un ordre précis. Les points mesurés correspondent à des vertex spécifiques du niveau le plus détaillé des PARM et à un point au sol. La spécification du type de PARM à saisir est réalisée par l'opérateur humain lorsqu'il sélectionne son outil de saisie. Il existe un outil (icône à sélectionner) par type de PARM. La Figure 7 représente les points devant être mesuré (i.e. pointés à l'aide du curseur dans la vue stéréoscopique ) dans le cas du premier PARM, les numéros correspondent à l'ordre dans lequel ils doivent être mesurés. Le point d'ancrage du PARM correspond au premier point mesuré. Chacun des points permet de déduire des paramètres distincts (ex : le point 2 donne la longueur et l'angle d'orientation du PARM). Seule la valeur Z du point 4 est exploitée, elle permet de déterminer le paramètre hauteur du PARM.

Les PARM peuvent par ailleurs être groupés durant le processus d'acquisition s'ils doivent respecter une même contrainte de généralisation. Actuellement, seules des contraintes d'alignement et d'agrégation peuvent être définies. Celles-ci seront enrichies avec les développements futurs du concept de SGO développé dans notre groupe de travail. La constitution d'un groupe devant respecter la même contrainte de généralisation se fait en spécifiant le premier et le dernier PARM saisi appartenant à ce groupe. Le résultat de la saisie en représentations multiples est stocké sous la forme de fichiers au format XML.

Il est important de noter que la solution de saisie manuelle mise en place est une solution temporaire visant à valider la faisabilité de l'approche. Nous travaillons actuellement à la réduction du nombre des interventions requises par l'opérateur humain.



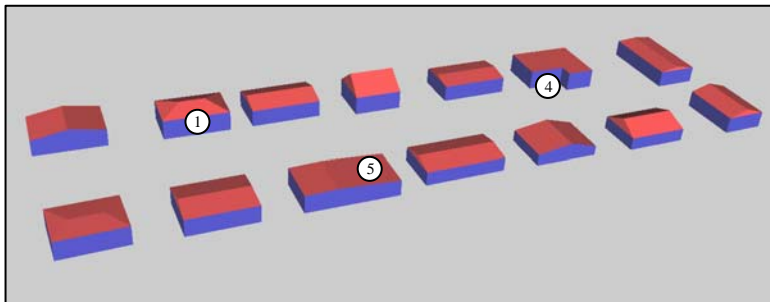
**Figure 7 :** Exemple de points à mesurer pour définir un PARM

Une application permettant de visualiser en 3D les résultats et de naviguer à travers différents niveaux d'abstractions a par ailleurs été développée. Chaque PARM y est géré comme un arbre de patrons 3D et 2D disposants de fonctions permettant de convertir les paramètres des niveaux détaillés vers les paramètres des niveaux simplifiés.

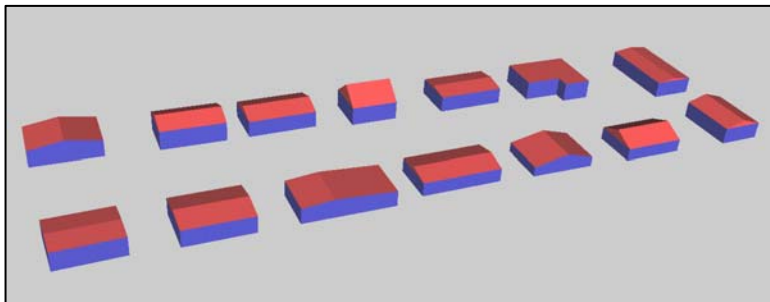
Les figures ci-après illustrent les différentes représentations d'un quartier de l'agglomération de Québec obtenues (dans l'application de visualisation décrite précédemment) par saisie en représentations multiples à l'aide du prototype manuel mis en place et de trois PARM. Les PARM correspondant aux numéros 1, 4 et 5 sur la [Figure 6](#) sont identifiés sur la [Figure 9](#). Dans cet exemple, trois groupes de PARM devant respecter une même contrainte d'agrégation ont été constitués. La [Figure 8](#) est un extrait d'une des images sources utilisées. La [Figure 9](#) correspond au niveau le plus détaillé extrait. Les [Figure 10](#) et [Figure 11](#) correspondent à deux niveaux simplifiés pour lesquels chaque bâtiment dispose d'une géométrie pour le représenter. La [Figure 12](#) illustre comment la contrainte d'agrégation définie durant la saisie peut être utilisée pour définir une représentation géométrique correspondant à plusieurs bâtiments.



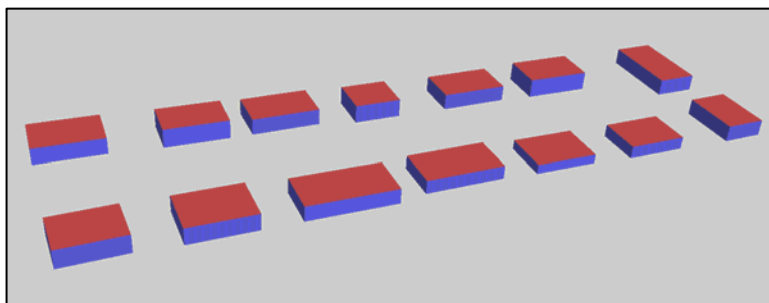
**Figure 8 :** Exemple de saisie, extrait d'une des images sources.



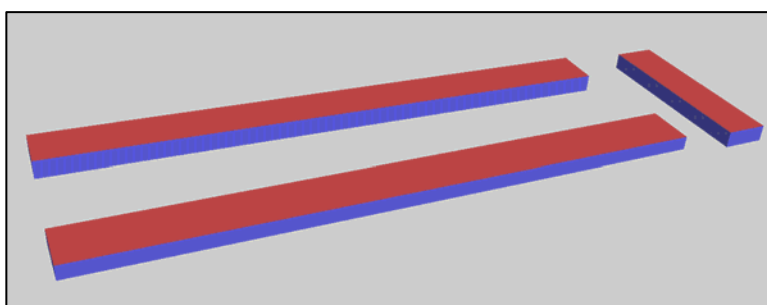
**Figure 9 :** Exemple de saisie, représentations détaillées.



**Figure 10 :** Exemple de saisie, représentations simplifiées niveau 1.



**Figure 11 :** Exemple de saisie, représentations simplifiées niveau 2.



**Figure 12 :** Exemple de saisie, représentations simplifiées niveau 3.

### 3.3.2. *Connaissance et traitement d'image*

Nous travaillons actuellement à la mise en œuvre de traitements permettant de positionner automatiquement les PARM après identification et introduction de connaissances a priori. Nous basant sur notre étude des travaux existant relatifs à la reconstruction automatique de bâtiments (cf 2.2.4), nous envisageons d'exploiter des connaissances a priori pour réduire la taille des espaces de recherche et pour améliorer la performance des traitements bas niveaux. L'extraction de contours des images est un traitement de bas niveau fréquemment utilisé dans les approches identifiées dans la partie 2. Nous nous sommes intéressés à l'apport de connaissances a priori lors de l'utilisation de ce type de traitement dans une perspective d'automatisation de la saisie à l'aide de PARM.

Selon ce principe et afin de réduire l'influence de contours correspondant à d'autres objets géographiques que le bâtiment à extraire, nous avons comparé les contours détectés à l'aide du filtre passe haut de Canny (filtre d'extraction de contours) à ceux détectés avec ce même filtre de Canny et respectant en plus une contrainte directionnelle (i.e. direction du contour détectée proche de la direction spécifiée). Le filtre de Canny est en effet un des filtres d'extraction de contours les plus performants (Maître 2003), particulièrement dans un contexte où l'on peut adapter ses paramètres à l'image et à l'objet à extraire (Heath, Sarkar et al. 1998).

Ces tests préliminaires ont été effectués sur une seule image au 1/5000 de la zone de Québec et ont été mis en œuvre sur 178 bâtiments.

Nous avons retenu uniquement les pixels détectés par le filtre de Canny dont la direction était égale à celle spécifiée par la contrainte directionnelle modulo  $\pi/2$ . Nous avons ensuite comparé les éléments de contours extraits dans les deux cas avec des contours de référence saisis manuellement. Pour chacun des bâtiments testés, la zone d'intérêt était centrée sur le bâtiment et faisait une superficie quatre fois supérieure à celle du bâtiment. Les paramètres du filtre de Canny (paramètres de lissage et de seuillage) ont été définis empiriquement selon une analyse visuelle des résultats. L'analyse des performances obtenues a révélé que l'ajout d'une contrainte directionnelle permettrait de réduire en moyenne de plus de 45% le nombre total des pixels détectés comme éléments de contours dans toute la zone d'intérêt. Le nombre de pixels détectés comme éléments de contours et situés à une distance inférieure à trois pixels des contours références a diminué en moyenne de 22%. Cette baisse est liée d'une part à la présence d'éléments de détails autres que les contours recherchés du bâtiment (ex : cheminée, branchage) qui ne sont pas dans les directions principales spécifiées et d'autre part au fait que les éléments de contours des toits ne respectaient pas toujours notre hypothèse selon laquelle ils sont rectilignes. Les figures 12, 13 et 14 illustrent ces phénomènes. On peut par exemple constater que les contours d'une des cheminées sont rejetés par la contrainte directionnelle alors qu'ils sont situés sur le contour du toit du bâtiment. On remarque aussi qu'aux coins du bâtiment, les angles des contours détectés ne sont pas parfaitement orthogonaux et sont donc rejetés. La distance de trois pixels a été déterminée en fonction des discontinuités des contours détectés par rapport au contour référence. Elle résulte du fait que les éléments détectés sont surdétaillés par rapport aux lignes que l'on aurait souhaité détecter. Dans notre cas d'utilisation (paramètre de lissage et résolution de numérisation des images) ces discontinuités impliquaient un écart-type d'environ un pixel autour de la ligne référence ce qui a permis de fixer la tolérance à trois pixels (trois fois l'écart type en faisant l'hypothèse d'une distribution normale). Le fait de réduire cette tolérance aurait impliqué un rejet abusif de points détectés et aurait donc baissé le ratio nombre de pixels détectés sur le nombre de pixels théoriques devant être détectés. L'utilisation d'une valeur trop grande aurait quant à elle impliqué une prise en compte erronée de pixels ne correspondant pas au contour à détecter et aurait biaisé l'évaluation de l'impact du filtrage directionnel.



**Figure 13 :** Illustration de l'exploitation de la contrainte directionnelle, Image Source.



**Figure 14 :** a :) Partie gauche, image des contours extraits, b) partie droite, image des contours extraits et filtrés selon la contrainte directionnelle

L'application de la contrainte directionnelle a permis d'améliorer d'un facteur 2 le rapport entre le nombre de pixels détectés correspondant aux contours du bâtiment et le nombre total de pixels détectés comme éléments de contours (incluant les éléments que nous ne cherchons pas à extraire).

Ces résultats mettent en évidence que l'introduction de contraintes, déduites de connaissances a priori, peut permettre de réduire l'influence des éléments environnants du bâtiment à extraire sur un processus d'extraction de contours. Seule une analyse de l'impact de l'exploitation d'une telle contrainte sur la détermination



des paramètres d'implantation des PARM permettra d'en évaluer l'intérêt effectif. Ces résultats préalables sont néanmoins encourageants.

#### **4. Conclusion**

Nous avons proposé une approche originale traitant le problème du peuplement de BDRM 3D dans le cas des bâtiments. Partant du principe que la suppression totale de l'opérateur humain dans le processus n'était pas envisageable dans un avenir proche, nous avons proposé un moyen simple de tirer profit au maximum de son intervention. Nous avons développé une architecture de système mettant en œuvre les concepts proposés pour réduire l'implication globale de l'opérateur humain dans le processus de peuplement de BDRM3D de bâtiments. Une analyse de la problématique de peuplement des BDRM3D de bâtiments a été proposée. Les concepts théoriques de PARM et de gestion contextuelle des traitements utilisés par notre approche ont été présentés ainsi que des résultats préliminaires encourageants.

Cette approche pourrait par ailleurs constituer une alternative intéressante pour les producteurs de données qui doivent peupler et maintenir à jour plusieurs bases de données géographiques correspondant à leurs différents produits. En effet, l'exploitation d'un entrepôt de données<sup>5</sup> à représentations multiples, correspondant à l'unique base de données à maintenir, combinée à une architecture multi-tiers (Bernier et Bédard 2005), permet de générer automatiquement des marchés de données<sup>6</sup> correspondant aux différents produits des producteurs de données. L'utilisation d'une telle approche permettrait alors de limiter les efforts de peuplement et de mise à jour à une seule BDRM3D.

#### **5. Remerciements**

Les auteurs tiennent à souligner le support de la Chaire de recherche industrielle en bases de données géospatiales décisionnelles financée par le Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada, l'Université Laval, Hydro-Québec, Recherche et Développement Défense Canada, Ressources Naturelles Canada, Transport Québec, KHEOPS Technologies, Intélec Géomatique, Syntell, Holonics et Alta-Innovation.

---

<sup>5</sup> Un entrepôt de données est un dépôt unique, complet et cohérent de données obtenues d'une variété de sources et accessibles aux usagers d'une manière leur permettant de comprendre ces données et de les utiliser dans un contexte d'entreprise

<sup>6</sup> Le marché de données est une implantation localisée d'un entrepôt de données à usage unique.

Les auteurs souhaitent par ailleurs souligner le support du Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada et de DVP-GS dans le cadre du programme de bourses de doctorat d'études supérieures à incidence industrielle.

## 6. Bibliographie

Badard, T. and C. Lemarié, *Associer des données: l'appariement*, Information Géographique et Aménagement du Territoire (IGAT). H. sciences. Paris, Lavoisier, 2002, p. 163-183.

Baillard, C. and A. Zisserman, « A Plane-Sweep Strategy for the 3D Reconstruction of Buildings from Multiple Images », *19th ISPRS Congress and Exhibition*, vol. 32, 2000.

Baltsavias, E., « Object Extraction and Revision by Image Analysis Using Existing Geodata and Knowledge: Current Status and Steps Towards Operational Systems », *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 58, 2004, p. 129-151.

Bédard, Y., « Combining Automatic Generalization and Multiple Representations for Highly Interactive Web-based Mapping », *GeoSpatial Word*, 2004.

Bédard, Y., S. Rivest, et al., *Spatial On-Line Analytical Processing (SOLAP): Concepts, Architectures and Solutions from a Geomatics Engineering Perspective.*, Data Warehouses and OLAP: Concepts, Architectures and Solutions. R. Wrembel and C. Koncilia, Idea Group Publishing, In Press, 2006, p.

Bernier, E. and Y. Bédard, *Data Warehouse Strategy for On-Demand Multiscale Geo-Information*, Challenges in the Portrayal of Geographic Information: Issues of Generalisation and Multi Scale Representation *in press*. A. Ruas, W. Mackaness, T. Kilpelainen and D. Richardson, 2005, p.

Bernier, E., Y. Bédard, et al., « UMapIT: An On-Demand Web Mapping Application Based on a Multiple Representation Database », *8th ICA Workshop on generalization and multiple representation*, 2005.

Bernier, E., Y. Bédard, et al., « Cartographie sur demande sur le Web et bases de données multidimensionnelles. De la personnalisation par couche cartographique à la personnalisation par occurrences. », *Revue Internationale de Géomatique, numéro spécial "Les SIG sur le Web"*, vol. 13, 2003, p. 339-359.

Brenner, C., *Interactive modeling tools for 3D building reconstruction*, Photogrammetric Week '99'. D. Fritsch and R. Spiller. Stuttgart (Germany), Wichmann Verlag, 1999, p. 23-24.

Brenner, C., « Towards fully automatic generation of city models », *XIX ISPRS Congress, Commission III, WGIII/1*, vol. 33(B3), 2000.

Cardenas, A. (2004). Utilisation de Patrons Géométriques comme support à la Généralisation Automatique. Département des Sciences Géomatiques. Québec, Laval: 110.

Cecconi, A., R. Weibel, et al., « Improving automated generalisation for on-demand Web mapping by multiscale Database », *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*, 2002.

CVSD. (2004-2008). "Communication and Visualization of Spatial Data." ISPRS- Working Group II / 5 Retrieved 28/01/06, from [http://www.isprs.org/technical\\_commissions/wgtc\\_2.html](http://www.isprs.org/technical_commissions/wgtc_2.html).

Dash, J., E. Steinle, et al., « Automatic building extraction from laser scanning data: an input tool for disaster management », *Advances in Space Research*, vol. 33, 2004, p. 317-322.

Englert, R., *Systematic acquisition of generic 3D building model knowledge*, Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps. Birkhäuser, Basel. W. Foerstner and L. Pluemer, 1997, p. 181-195.

Flamanc, D., G. Maillet, et al., « 3D City Models: An Operational Approach using Aerial Images and Cadastral Maps », *ISPRS Workshop on "Photogrammetric Image Analysis"*, vol. 34 (3/W8), 2003.

Förstner, W., *3D-city Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods*, Photogrammetric Week '99'. D. Fritsch and R. Spiller. Stuttgart (Germany), Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999, p. 291-303.

Franklin, C., « An Introduction to Geographic Information Systems: Linking Maps to Databases », *Database*, 1992, p. 13-21.

Fuchs, F. and H. Le-Men, « Efficient subgraph isomorphism with 'a priori' knowledge-application to 3D reconstruction of buildings for cartography. Advances in Pattern Recognition », *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1876, 2000.

GEMURE. (2002-2005). "Generalisation and Multiple Representations for On-Demand Map Production and Delivery. A project financed by GEOIDE from april 2002 to march 2005." Retrieved 2 April 2005, from <http://sirs.scg.ulaval.ca/gemure/en/home.asp>.

Heath, M., S. Sarkar, et al., « Comparison of Edge Detectors », *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 69, 1998, p. 38-54.

Jibrini, H., N. Paparoditis, et al., « Automatic building reconstruction from very high resolution aerial stereopairs using cadastral ground plans », *XIX ISPRS Congress, Commission III, WGIII/1*, vol. 33 (B3), 2000.

Larrivée, S., Y. Bédard, et al., « Fondement de la modélisation conceptuelle des bases de données géospatiales 3D », *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 16/1, 2006.

Maître, H. 2003. *Le traitement des images*, Traitement du signal et de l'image, Hermès Sciences Publications.

Mayer, H., « Object Extraction for Digital Photogrammetric Workstations », *XXth ISPRS Congress - Geo-Imagery Bridging Continents - Commission II*, vol. 35(B2), 2004.

Oriot, H. and A. Michel, « Building Extraction from Stereoscopic Aerial Images », *Applied optics (Optical Society of America)*, vol. 43, 2004, p. 218-226.

Pierrot-Deseilligny, M. and N. Paparoditis, « A multiresolution and optimization-based image matching approach: an application to surface reconstruction from Spot5-HRS stereo imagery », *ISPRS Ankara Workshop 2006. Topographic Mapping from Space.*, 2006.

Rottensteiner, F. and J. Jansa, « Automatic Extraction of Buildings from Lidar Data and Aerial Images », *Commission IV Symposium "Geospatial Theory, Processing and Applications" - WG3*, vol. 34(3), 2002.

Ruas, A. 2002. *Généralisation et représentation multiple*, Information géographique et Aménagement du Territoire, Paris, Hermès Sciences Publications.

Sabo, N. (2004). Intégration des Algorithmes de Généralisation et des Patrons Géométriques pour la Création d'Objets Auto-Généralisants afin d'Améliorer la Généralisation Cartographique Automatique. Québec, Département des Sciences Géomatiques: 67.

Sabo, N., A. Cardenas, et al., « Introduction du concept de patrons géométriques et application aux bâtiments afin de faciliter leur généralisation cartographique à la volée. », *Geomatica, the journal of the Canadian Institute of Geomatics*, vol. 59, 2005, p. 295-313.

Saux, E. and R. Billen. 2006. *Information géographique tridimensionnelle: théories, systèmes et applications*, Revue Internationale de Géomatique, numéro spécial, Paris, Hermes Sciences Publications.

Sohn, G., « Extraction of Building from High-Resolution Satellite Data and LIDAR », *XXth ISPRS Congress, Commission III - WGIII/4*, vol. 34 (B3), 2004.

Suveg, I. and G. Vosselman, « 3D Reconstruction of Building Models », *XIX ISPRS Congress - Commission III - WGIII/1*, vol. 33(B3), 2000.

Suveg, I. and G. Vosselman, « Reconstruction of 3D Building Models from Aerial Images and Maps », *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 58, 2004, p. 202-224.

Taillandier, F. and R. Deriche, « Automatic Building Reconstruction from Aerial Images: A Generic Bayesian Framework », *XXth ISPRS Congress - Geo-Imagery Bridging Continents - Commission III - WGIII/4*, vol. 35(B3), 2004.

Theodoridis, S. and K. Koutroumbas. 2006. *Pattern Recognition, Third Edition*, Academic Press.

Thonnat, M., S. Moisan, et al., « Experience in Integrating Image Processing Programs », *1st International Conference on Vision Systems (ICVS'99)*, 1999.

Tseng, Y.-H. and S. Wang, « Semiautomated Building Extraction Based on CSG Model-Image Fitting », *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 69, 2003, p. 171-180.

Vosselman, G. and S. Dijkman, « 3D Building Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans », *ISPRS WGIII/3-6 Workshop on "Land Surface Mapping en Characterization Using Laser Altimetry"*, vol. 34 (3/W4), 2001.

Vosselman, G. and H. Veldhuis, « Mapping by Dragging and Fitting of Wire-Frame Models », *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 65, 1999, p. 769-776.

Weibel, R. and G. Dutton, *Generalising spatial data and dealing with multiple representations*, Geographic Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications. P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire and D. W. Rhind. Cambridge, John Wiley & Sons, 1999, p. 125-155.