

LOD	Level of Detail
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MNS	Modèle Numérique de Surface
OGC	Open Geospatial Consortium
SEMO	Service de la Mensuration Officielle
SIG	Système d'Information Géographique
SITG	Système d'Information du Territoire Genevois
SOSI	Service de l'Organisation et des Systèmes d'Information
UML	Unified Modeling Language
XML	eXtensible Markup Language

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
PARTIE I.....	6
1. ENJEUX DE LA 3D DANS LES SIG: UN OUTIL D'EXPERTISE, DE DÉCISION ET DE COMMUNICATION	6
2. LA 3D EN SUISSE	7
2.1 Le projet 3D-MO Genève.....	8
2.1.1 Acquisition des données.....	8
2.1.2 Méthode de modélisation	9
2.1.3 Stockage	10
2.1.4 Diffusion	10
2.1.5 Etat d'avancement du projet.....	11
3. L'INTEROPÉRABILITÉ DES DONNÉES	12
3.1 Définition et enjeux.....	12
3.2 L'interopérabilité dans le cas du jeu de données 3D de Genève	13
3.3 L'interopérabilité recherchée dans le cadre du stage.....	13
4. FORMAT ESRI MULTIPATCH	14
4.1 Présentation du format.....	14
4.2 Structure des bâtiments 3D Multipatch de Genève.....	15
4.3 Informations attributaires.....	16
5. FORMAT CITYGML.....	17
5.1 CityGML présentation	17
5.2 Caractéristiques générales	18
5.3 Modules.....	18
5.4 Structure d'un bâtiment.....	19
5.5 Modélisation multi-échelles.....	20
5.6 Propriétés géométriques et topologiques	21
5.7 Concordance entre la sémantique et la géométrie.....	22
5.8 Apparence	23
5.9 Références externes.....	23
5.10 Objets urbains et attributs génériques	23
5.10.1 Objets et attributs génériques	23
5.10.2 extensions de domaine d'application (ADE).....	23
PARTIE II : CONVERSION ENTRE LES DONNÉES MULTIPATCH ET CITYGML	25
1. ETAPES DE LA CONVERSION	25
2. SPÉCIFICATIONS POUR LA CONVERSION DES BÂTIMENTS 3D MULTIPATCH (ESRI) VERS CITYGML.....	26
2.1 Structure des bâtiments 3D CityGML.....	26
2.1.1 Propriétés sémantique des objets 3D	26
2.1.2 Attributs.....	27
2.1.3 Niveau de détail (LOD) et géométrie.....	27
2.1.4 Diagramme UML d'un bâtiment.....	27
2.2 Les balises CityGML	28

2.2.1	Balise CityModel	28
2.2.1.1	Références du modèle.....	28
2.2.1.2	Enveloppe.....	29
2.2.2	Balise CityObjectMember.....	29
2.2.3	Balise Building.....	29
2.2.3.1	Attributs.....	30
2.2.3.2	EGID.....	30
2.2.3.3	DATE_MAJ	30
2.2.4	Balise outerBuildingInstallation.....	30
2.2.5	Balise BuildingInstallation	30
2.2.5.1	Attributs.....	31
2.2.6	Balise lod3Geometry	31
2.2.7	Balise boundedBy	31
2.2.8	Balise GroundSurface	32
2.2.8.1	Attributs.....	32
2.2.9	Balise WallSurface	32
2.2.9.1	Attributs.....	32
2.2.10	Balise RoofSurface	33
2.2.10.1	Attributs.....	33
2.2.11	Balise lod3MultiSurface.....	33
2.2.12	Balise MultiSurface.....	33
2.2.13	Balise surfaceMember.....	34
2.2.14	Balise Polygon.....	34
2.2.15	Balise exterior.....	34
2.2.16	Balise LinearRing.....	34
2.2.17	Balise posList	34
2.3	Exemple de la structure d'un bâtiment CityGML en langage XML.....	35
3.	CONVERSION DE LA BASE DE DONNÉES MULTIPATCH VERS CITYGML	38
3.1	Logiciels et applications utilisées pour la conversion des données 3D.....	39
3.2	Contraintes de la conversion dans le traducteur FME	39
3.3	Modifications dans FME	40
4.	CONCLUSION	45
5.	BIBLIOGRAPHIE	46

INTRODUCTION

Le présent rapport est le résultat d'un stage de trois mois effectué du 1^{er} avril au 30 juin 2009 au Système de l'Organisation et des Systèmes d'Information (SOSI) à Genève, dans le cadre du Certificat de spécialisation en Géomatique.

Ce travail comporte une réflexion globale sur l'interopérabilité des données en trois dimensions.

Dans le cadre du projet 3D-MO à Genève, un projet visant la modélisation tridimensionnelle du canton, le SITG dispose d'une base de données des bâtiments 3D de quelques communes genevoises au format ESRI Multipatch et vise par la suite la couverture totale du canton de Genève. Dans une logique de partage des données, la démarche est de proposer, dans un format interopérable, les données géographiques tridimensionnelles des bâtiments aux utilisateurs et partenaires du SITG.

Plus précisément, un format dédié à l'information géographique 3D de l'environnement construit est étudié comme format de diffusion. Il s'agit du format CityGML, le standard d'échange de données récemment adopté comme norme internationale par l'OGC, pour le partage de modèles virtuels urbains 3D.

CityGML étant récemment adopté comme standard depuis août 2008, il n'existe actuellement pas une conversion automatisée satisfaisante avec les spécifications CityGML d'un modèle de bâtiments. De même, il n'existe pas ou que très peu de détails sur les modalités de conversion entre les deux formats.

Le stage a ainsi consisté à évaluer les différences et les contraintes entre le format de données Multipatch et le format de modélisation CityGML, dans l'objectif de réaliser une conversion automatisée, à l'aide d'un script de traduction.

La création de ce convertisseur sera implémentée dans les scripts d'extraction du SITG et les partenaires et utilisateurs pourront ainsi accéder à la base de données 3D des bâtiments de Genève, notamment dans le format CityGML.

Le format de partage de données 3D COLLADA a également été approché durant le stage comme format de conversion, cependant l'étude de ce format n'apparaît pas dans cet écrit.

Ce rapport est constitué de deux parties. La première partie correspond à une approche théorique et descriptive, notamment sur la pertinence de disposer d'un SIG 3D dans les applications cartographiques d'une ville, un aperçu du projet 3D-MO à Genève, une réflexion globale sur l'interopérabilité des données et sur le format CityGML ; la seconde partie expose les modalités du stage, ainsi que les manipulations effectuées par étapes pour obtenir la conversion automatisée.

PARTIE I

1. ENJEUX DE LA 3D DANS LES SIG: UN OUTIL D'EXPERTISE, DE DÉCISION ET DE COMMUNICATION

La modélisation 3D du territoire est devenue une préoccupation pour de nombreuses villes. Représenter le territoire urbain réel sous forme virtuelle constitue en effet de nombreux enjeux. Elle peut être utilisée pour des objectifs touristiques, privilégiant la modélisation esthétique de la ville, ou être un véritable outil d'informations géographiques, dans lequel les objets 3D sont géoréférencés de manière précise et réaliste.

En particulier, le développement de l'imagerie 3D géoréférencée du territoire constitue pour les villes un intérêt grandissant pour gérer diverses problématiques urbaines. La représentation détaillée, complète et transparente du territoire peut participer à la mise en œuvre des politiques publiques notamment dans les domaines de l'aménagement du territoire, de la mobilité, de l'environnement, de la nature et du paysage et de l'agriculture et de l'eau.

Cet outil permet une expertise approfondie du territoire, du fait que la représentation intègre des volumes réels. Par exemple, il permet d'obtenir des mesures précises de l'impact des bâtiments, où des paramètres comme la propagation du bruit, des rayonnements énergétiques peuvent être calculés et modélisés sur les bâtiments, améliorant les décisions en matière de construction.

Autre que l'expertise territoriale, la simulation 3D représente également un outil efficace dans la gestion des catastrophes (tremblements de terre, inondations, incendies) et d'évaluer les zones à risques, ainsi que de gérer les plans d'évacuation.

Plus particulièrement, l'apport de la simulation 3D permet de mieux gérer les projets de construction, qu'ils soient à grande échelle (projets architecturaux) ou à petite échelle (planification urbaine). La simulation d'un projet urbain dans l'environnement qui l'entoure, permet de mesurer son impact, son intégration dans le paysage, au travers de son volume projeté, tout en mettant en avant une comparaison entre l'état actuel et futur.

L'avantage de la simulation consiste également à maîtriser les coûts engendrés par les frais de maquettes réalisées lors d'un projet. En effet, la réalisation de maquettes numériques d'ensemble à l'occasion d'un grand projet, sont souvent entreprises pour sa promotion et pour évaluer les constructions futures sur le territoire. Les professionnels du territoire à l'exemple de l'architecte, ou de l'urbaniste grâce à la constitution d'une base de données 3D, n'ont alors plus qu'à compléter les informations existantes, pour y présenter leur intervention de construction. Des gains de temps sont également non négligeables dans la réalisation conceptuelle par ordinateur.

Ainsi, la 3D apparaît être essentiellement exploitées par les professionnels du territoire, tels que les architectes, les urbanistes, les aménagistes, les paysagistes ou encore les ingénieurs civils; et est destiné d'une part, aux élus afin d'engager un processus décisionnel pour l'étude de nouveaux projets et d'autre part, à la population, pour faciliter la compréhension des projets et favoriser le dialogue et la concertation entre tous les acteurs.

L'imagerie géoréférencée en 3D devient ainsi indispensable à l'usage des experts du territoire pour analyser, simuler, décider et communiquer dans les domaines liés à la gestion du territoire.

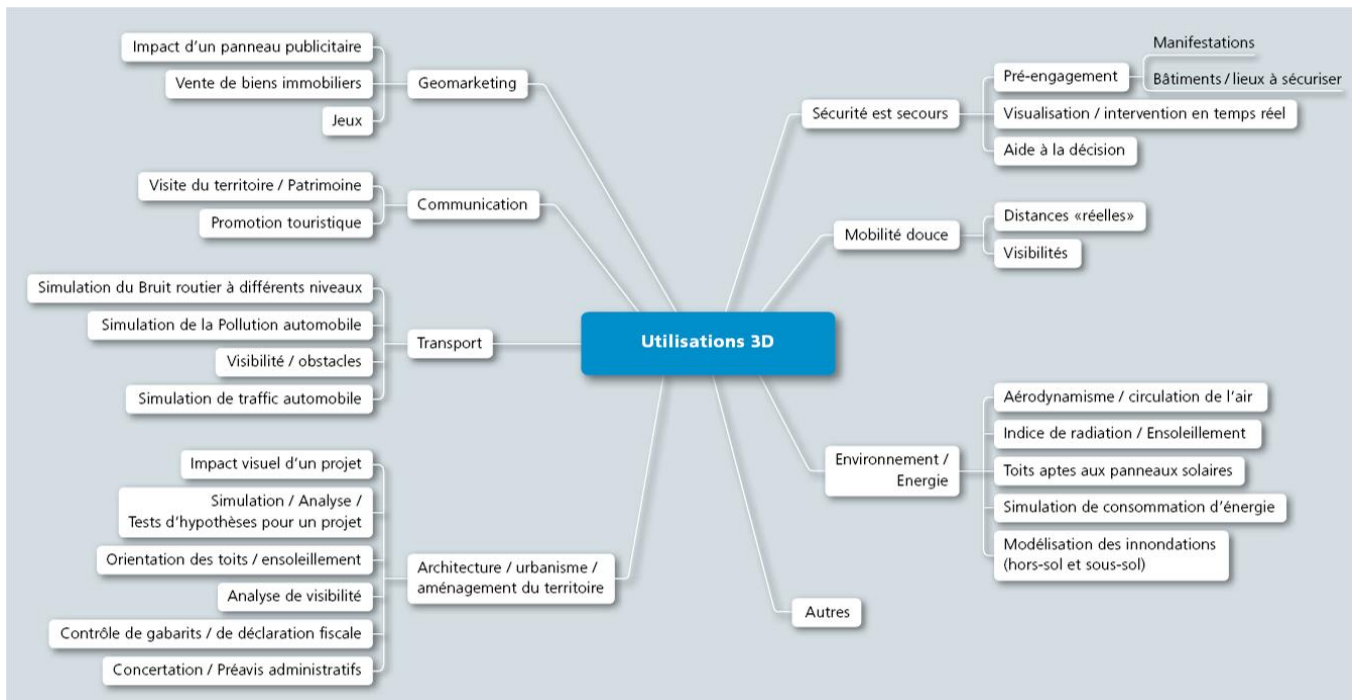


Figure 1 : Principales utilisations potentielles de la 3D (NIGGELER Laurent, 2008)

2. LA 3D EN SUISSE

Des projets pilotes ont émergé en Suisse afin d'implémenter la 3D dans les applications cartographiques des cantons. Issu d'une proposition de la Conférence des Services Cantonaux du Cadastre (CSCC), la commission a mis en place le projet 3D-MO, pour déterminer la pertinence de l'intégration de la 3D dans les systèmes d'information de la mensuration officielle et les modalités de la modélisation 3D, notamment la saisie ainsi que le type d'objets à représenter.

Il en est sorti que la 3D représente des atouts indiscutables pour une meilleure gestion du territoire.

Le rendu 3D intègrera l'altimétrie, le bâti et des objets divers (murs, escaliers, ponts, fontaines, végétation, lampadaires, antennes téléphoniques, domaine routier...).

Face à cette réflexion, trois villes ont participé à des projets pilotes, avec différentes méthodes d'acquisition de données 3D :

- Bettingen (BS)
- Thun (BE)
- Genève

2.1 LE PROJET 3D-MO GENÈVE¹

L'Etat de Genève s'est engagée dans le projet 3D-MO avec de multiples partenaires, en particulier le SEMO dont le projet a été confié, le SITG, le laboratoire Matis de IGN, l'HEIG-VD de Yverdon.

Le projet s'inscrit dans un contexte, où la 3D est vue comme un outil efficace et pertinent pour répondre à diverses problématiques territoriales, ce que la 2D ne suffit plus à expliquer, selon le directeur de la mensuration officielle de Genève, Laurent Niggeler². Par ailleurs, ce projet s'est vu accompagné de nouvelles données facilitant l'approche de la 3D, notamment des données LiDAR et des relevés photogrammétriques réalisés en 2005.

La modélisation 3D a en premier lieu été évaluée sur une zone pilote d'environ 16 hectare, s'étendant des quais du Rhône à la Vieille Ville (voir image ci-contre et image de la page de titre pour le rendu 3D) et réalisée avec la collaboration de la société CyberCity AG, spécialisée dans la modélisation 3D.



La modélisation de cette zone a permis de déterminer les meilleures méthodes d'acquisition des données et de rendu 3D, qui seront utilisés pour la modélisation du canton de Genève. Elles ont été établies selon plusieurs critères notamment, l'automatisation des manipulations des données, leur précision et le coût des opérations.

Figure 2 : Périmètre pilote pour la modélisation 3D (VIEIRA DE MELLO Adrien, 2006)

2.1.1 ACQUISITION DES DONNÉES

Plusieurs données ont été utilisées dans la conception du rendu tridimensionnel de la zone pilote de Genève:

- La base de données vectorielle 2D contenant les limites cadastrales, ainsi que d'objets divers;
- les valeurs de hauteur ou d'altitude des bâtiments;
- les orthophotos à 16 centimètres de résolution et les photos orientées (2005) ;
- les données laser aéroportées LiDAR à hautes résolution (2005), permettant par ailleurs d'obtenir :
 - des modèles numériques d'altitude MNT/MNS à 1 mètre ;
 - des informations spectrales permettant, entre autres, la différenciation entre bâtiments, végétation, sol et ponts.

¹ Pour davantage d'informations, voir le rapport final du Projet 3D-MO d'Adrien Vieira de Mello.

² Service de la mensuration officielle, *Genève en 3D: un outil d'aide à la décision*, Etat de Genève, [en ligne]: <http://etat.geneve.ch/dt/dcmo/projet-763-3959-9246.html>

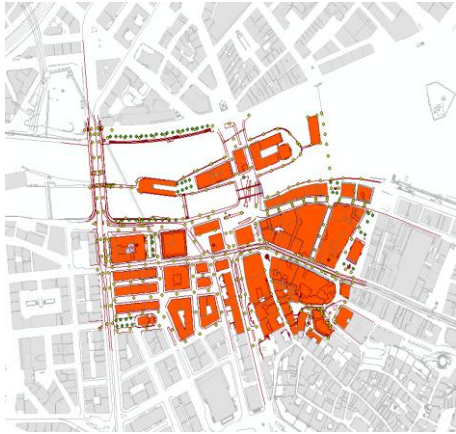


Figure 3 : Données vectorielles 2D du SITG

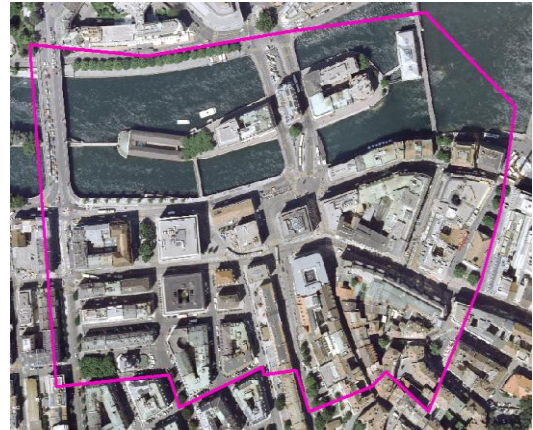


Figure 4 : Orthophotos

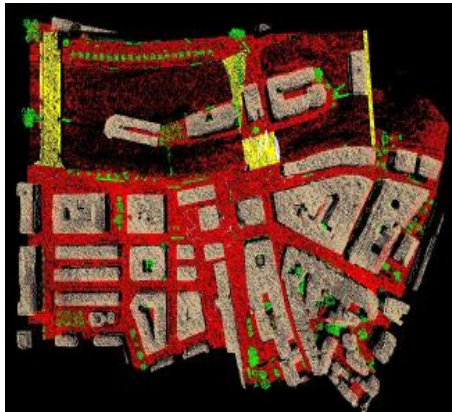


Figure 5 : Points brutes LiDAR

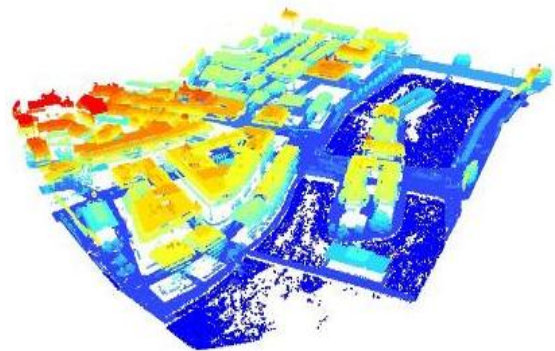


Figure 6 : Modèle numérique d'altitude

(VIEIRA DE MELLO Adrien, 2006)

2.1.2 MÉTHODE DE MODÉLISATION

La méthode principale à évaluer pour la modélisation des objets 3D reposait sur la technologie d'acquisition de données aéroportées LiDAR. Cette méthode consiste à balayer le territoire par laser. Le résultat est représenté par des nuages de point lorsque des objets sont interprétés, avec une densité moyenne de trois points par mètres carrés.

Diverses opérations ont ensuite été effectuées avec plusieurs applications logicielles pour permettre la reconstitution des objets 3D, sujet que nous ne développerons pas ici.

Il s'est avéré que cette méthode fonctionnait bien pour certains objets 3D, tels que les arbres et les trottoirs mais pas pour l'intégralité des objets.

La méthode de modélisation dépend ainsi des entités à représenter. Par exemple, au vu de certaines contraintes de précision pour les bâtiments, les données LiDAR n'ont pas été satisfaisantes et n'ont donc pas été utilisées pour le bâti.

Les bâtiments ont été modélisés manuellement par photogrammétrie et les données cadastrales. La photogrammétrie utilise les photos aériennes orientées, celles-ci sont prises selon différents points de vue, sur un principe de vision stéréoscopique humaine qui permettent de reconstituer une image 3D exacte de la réalité.

Au final, l'ensemble des données 3D de la zone pilote à été réalisé de manière semi-automatique avec la technologie laser LiDAR et la photogrammétrie ainsi que des données cadastrales et des levés de terrain.

Le rendu se constitue de données vectorielles 3D, de données raster (orthophotos) qui sont mappées sur des MNT. Les bâtiments ne seront pas texturés, afin d'éviter un rendu 3D trop volumineux.

2.1.3 STOCKAGE

L'architecture du SITG est basée sur les produits ESRI. La base de données est gérée avec la l'application ArcSDE, sur une solution Oracle. Le format est le Shapefile 3D Multipatch, avec une combinaison de faces planes pour créer les objets 3D.

2.1.4 DIFFUSION

Les données 3D seront diffusées à tous les SIG de l'Etat, ainsi qu'aux acteurs et partenaires du SITG. Elles seront visualisables sur le nouveau guichet cartographique 3D du SITG *Geo3D³* et sera présentée comme une nouvelle couche du SITG.

Pour l'instant, seul le bâti du centre de Genève est visualisable.



Figure 7 : Modélisation 3D des bâtiments du centre de Genève à travers l'interface du SITG

³ Le guichet cartographique 3D : <http://etat.geneve.ch/sitg/guichet-4254.html>



Il sera possible de télécharger les données en ligne dans différents formats 3D d'échange graphique, grâce au nouvel outil d'extracteur de données *GeoExtracteur*⁴, implémenté dans un guichet métier du SITG, tels que :

- 3DS – du logiciel 3D Studio Max, format de modélisation et d'animation 3D développé par Autodesk;
- CityGML – nouvelle norme internationale de l'OGC, un standard pour représenter et partager l'information contenue dans des modèles urbains 3D (information géographique et sur les objets eux-mêmes) ;
- COLLADA - particulièrement utilisé dans les projets d'animation, les jeux vidéos et de plus en plus dans les industries (construction automobiles) ainsi que pour la représentation d'objets architecturaux géoréférencés, les fichiers KML de Google Earth utilise par exemple le format Collada ;
- DXF et DWG – format d'échange (DXF) et de dessin (DWG) du logiciel AutoCAD;
- KML – notamment utilisé par Google Earth, spécialisé dans la visualisation d'informations géographiques;
- Interlis – le format 3D adopté par la Confédération, un langage de description conceptuel et un format de transfert spécialement orienté vers les données géoréférencées ;
- Multipatch – proposé par ESRI pour les entités 3D et format dont dispose le SITG;
- VRML - format de description de scène, utilisé pour véhiculer des mondes virtuels en 3D sur le web ;

Le but de cette démarche est de pouvoir partager les données à une palette d'acteurs.

Cependant, certains de ces formats sont encore à l'étude, en fonction de la pertinence de leur utilisation, ainsi que la possibilité d'une automatisation de conversion depuis le format Multipatch. Il est avant tout nécessaire d'évaluer l'interopérabilité entre ces formats.

Les formats 3DS, DXF, DWG, KML, VRML ne posent pas de problème pour la conversion, qui s'opère sans contrainte avec l'utilisation du logiciel de traducteur de données FME. En revanche la traduction vers CityGML et COLLADA, implique des différences de structures importantes, avec des conversions non satisfaisantes (conversion possible en CityGML mais spécificités du format non reconnue ; pas de conversion directe vers le COLLADA pour le moment, utilisation de plusieurs applications impliquant l'altération des systèmes de coordonnées géoréférencées).

2.1.5 ETAT D'AVANCEMENT DU PROJET

Les différents points de méthode de modélisation décrits au point 2.1.2 sont retenus pour le canton de Genève. La première étape de la modélisation repose pour l'instant sur la classe d'objet la plus caractéristique du milieu urbain, celle des bâtiments, ce qui équivaut à près de 76'000 bâtiment à modéliser, avec une précision moyenne de 30 centimètres⁵. Cette démarche est actuellement en

⁴Le guichet d'extraction du SITG : <http://etat.geneve.ch/geoportail/geoextracteur/>

⁵ Département du territoire (DT) - Direction cantonale de la mensuration officielle (DCMO), *Cahier des charges technique Bâti 3D*, 2008, p.3.

train d'être achevée par la compagnie danoise COWI et la société GeoDataNetwork S.A. établie à Veyrier, spécialisées dans l'acquisition et le traitement de données à référence spatiale. Le mandat a débuté en juillet 2008 et devrait être remis au SEMO dans le courant de l'été 2009, qui sera chargé de vérifier l'ensemble des données 3D, avant de les mettre à disposition des utilisateurs. Quelques communes sont déjà disponibles mais demande encore une mise à jour et une validation définitive.

3. L'INTEROPÉRABILITÉ DES DONNÉES

L'interopérabilité informatique est une problématique primordiale lorsque l'on cherche à partager, diffuser ou acquérir des données, pour entrer dans une logique globale d'échange.

L'intérêt principal étant de convertir des données Multipatch vers CityGML, nous expliquerons quelles ont été les modalités et le travail effectué en stage dans la seconde partie de ce rapport. Mais tout d'abord, posons les enjeux de l'interopérabilité en général ainsi que dans le cadre du projet 3D-MO et quelques éléments de définitions des deux formats utilisés.

3.1 DÉFINITION ET ENJEUX

On désigne, par le terme d'interopérabilité, la « capacité à échanger des informations et des données de manière fiable et consistante entre deux applications logicielles différentes »⁶.

L'objectif de l'interopérabilité est de pouvoir « [...] échanger ou mettre à la disposition de l'utilisateur des informations d'une manière efficace et exploitable, sans que des mesures particulières entre systèmes soient nécessaires à cet effet. »⁷

Pour garantir l'interopérabilité, les différents systèmes d'exploitation de données et formats doivent alors respecter des normes communes. Ces normes communes sont souvent établies par des organismes ou consortiums qui, pour promouvoir l'interopérabilité, définissent des standards ouverts, c'est-à-dire rendus public et en libre utilisation.

A ce titre, il existe l'Open Geospatial Consortium (OGC)⁸, un consortium international qui élabore des normes et des standards ouverts pour garantir l'interopérabilité dans les SIG, dont nous pouvons notamment citer les formats de données ouverts : GML, KML et CityGML.

L'interopérabilité des données prend sens dans un contexte où non seulement les formats 3D prolifèrent, mais également les différents systèmes de stockage: CAO, vectoriel, matricielle, base de données, service web.

⁶ METRAL Claudine, 2009, *Dimensions spatiales, temporelles et sémantiques de l'environnement urbain*, p.21, [en ligne]: http://infogeo.unige.ch/IMG/pdf/Metral_Intro_080109.pdf

⁷ FORRER Ueli, *La complexité de l'interopérabilité - Compte-rendu de la pratique de la Suisse orientale*, F+P GEOINFO AG, 2005, p.2, [en ligne] : http://www.gis.ethz.ch/Interoperability2005/Text/Interop_09_FR.pdf

⁸ Open Geospatial Consortium (OGC): <http://www.opengeospatial.org/>

Elle apparaît ainsi essentielle, ce que de plus en plus de logiciels, d'applications et d'outils s'efforcent de faire en définissant des normes communes et des formats d'échange. Cependant, l'utilisation de standards ne permet pas toujours de résoudre les problèmes d'interopérabilité.

3.2 L'INTEROPÉRABILITÉ DANS LE CAS DU JEU DE DONNÉES 3D DE GENÈVE

Plus spécifiquement concernant les données géoréférencées de la 3D, leur exploitation implique également différents processus, utilisant des formats différents. Dans le cas de la constitution des données 3D de Genève, l'ensemble des données employées est vaste :

- la collecte des données par acquisition brute, par exemple les données LiDAR en format ASCII, les photos orientées en format TIFF, les données raster en ESRI-GRID ;
- la couche vectorielle du cadastre des bâtiments en divers format notamment en ESRI-SHAPE ;
- la transformation des données brutes et stockage dans une Géodatabase Personnelle ESRI par entité Multipatch ;
- l'ajout de valeurs attributaires ;
- leur diffusion en divers formats.

Tout cela implique que les données soient également interopérables, afin de les exploiter efficacement.

3.3 L'INTEROPÉRABILITÉ RECHERCHÉE DANS LE CADRE DU STAGE

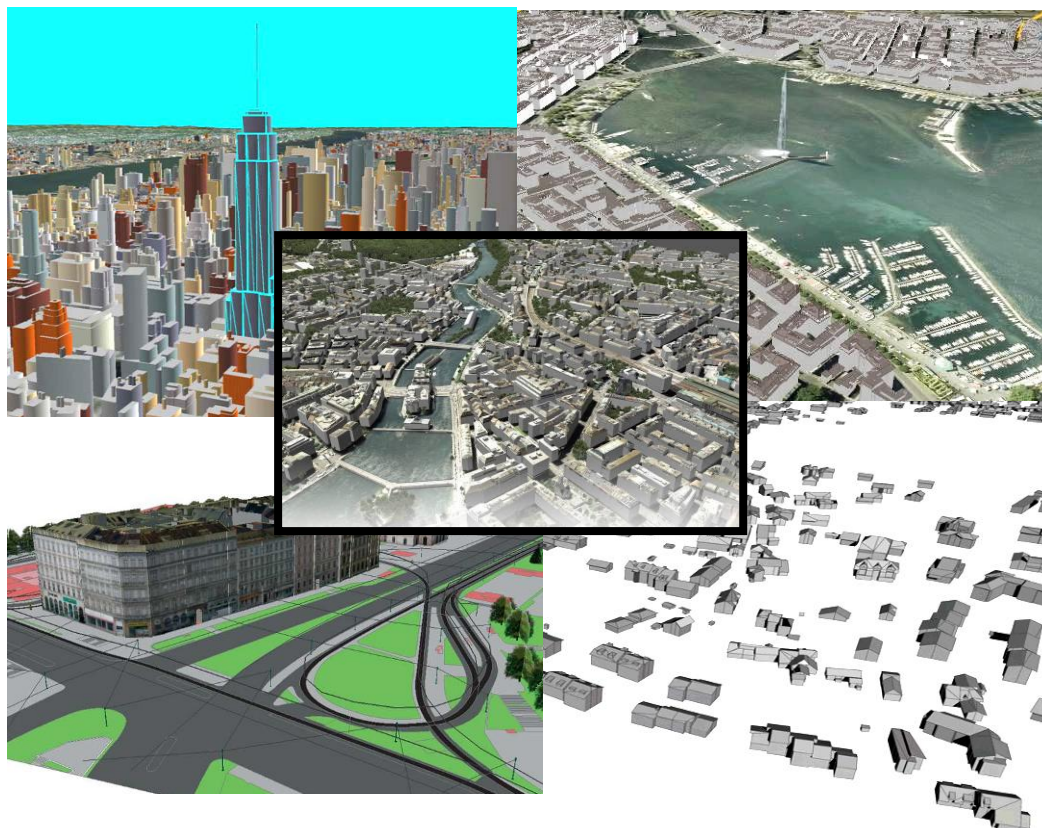
Dans le cadre du stage effectué au SOSI, la démarche d'interopérabilité des données s'attache exclusivement à la recherche de l'interopérabilité dans l'étape de la diffusion. Il s'agit d'étudier la possibilité de convertir la base de données des bâtiments 3D de Genève gérés au format ESRI Multipatch, vers le format CityGML, où seul le bâti est étudié.

Le choix du format CityGML repose sur son adoption comme standard international d'échange pour l'imagerie 3D géoréférencée.

L'exigence de la conversion doit :

- intégrer une comptabilité descriptive, c'est-à-dire respecter une correspondance entre la sémantique décrite par le format Multipatch et CityGML et retranscrire les informations attributaires;
- assurer une comptabilité géométrique permettant de décrire le géoréférencement des objets 3D selon le système de coordonnées suisses.

4. FORMAT ESRI MULTIPATCH



4.1 PRÉSENTATION DU FORMAT

Le format de données Multipatch est une géométrie de type vectorielle que propose ESRI depuis une dizaine d'années (1997) pour représenter des objets 3D. Le format est visualisable à travers l'interface d'ArcScene et d'ArcGlobe. Les géométries Multipatch, sont constituées de primitives 3D de l'OpenGL 3D : triangles, bandes de triangles, triangles en élices, anneaux, etc. qui combinées ensemble permettent de représenter les enveloppes extérieures d'entités 3D.⁹ Les classes d'entités Multipatch sont stockées dans une Géodatabase Personnelle ou sous forme de Shapefile.

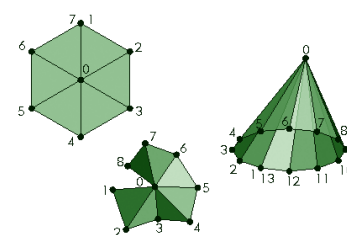


Figure 8 : Exemple de géométries 3D constituées de triangles
(ESRI, 2008, p.13.)

Elles comportent également des données géoréférencées qui permettent de localiser des objets dans un espace de référence donné. Le format peut représenter des objets 3D, tels que des bâtiments, des arbres, allant du plus simple au plus complexe, idéal pour la représentation de modèles de villes virtuels.

Par ailleurs, le Multipatch permet le stockage de textures d'images, de couleurs ou d'ombres qui rend le modèle encore plus réaliste.

⁹ ESRI, *The Multipatch Geometry Type*, ESRI® White Paper, 2008. p.5, [en ligne]: http://downloads2.esri.com/support/whitepapers/ao_/J9749_MultiPatch_Geometry_Type.pdf

4.2 STRUCTURE DES BÂTIMENTS 3D MULTIPATCH DE GENÈVE

Concernant la base de données des bâtiments en 3D en format Multipatch, chaque bâtiment est décrit par une base, des façades, un toit, des superstructures de façades et des superstructures de toit, soit cinq couches Multipatch. Les superstructures peuvent correspondre à des lucarnes, des systèmes d'aération, des cages d'ascenseurs, des avant-toits ou des cheminées.

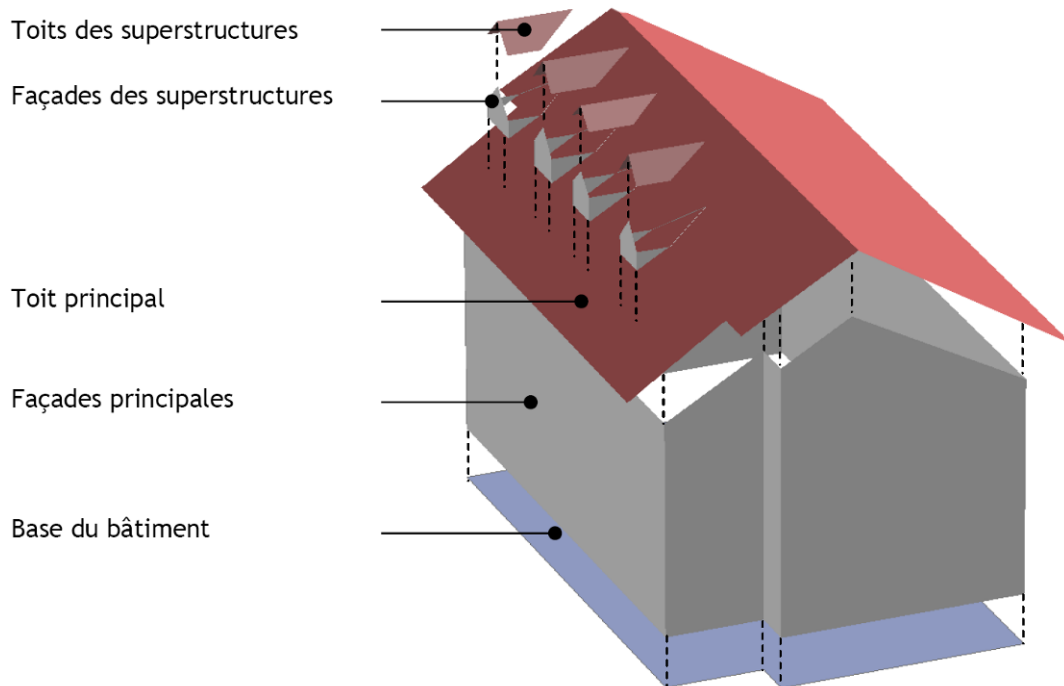


Figure 9 : Composition d'un bâtiment 3D de Genève (VIEIRA DE MELLO Adrien, 2006)

Les cinq couches Multipatch sont nommées:

La base:	BATIMENT_BASE
Les façades:	BATIMENT_BASIC_FACADE
Le toit:	BATIMENT_BASIC_TOIT
Les superstructures des façades:	BATIMENT_SP_FACADE
Les superstructures des toits:	BATIMENT_SP_TOIT

Les données sont stockées dans une Géodatabase Personnelle. Un modèle de données spécifique est adapté à chacune des couches. L'*EGID*, c'est-à-dire l'identifiant unique fédéral du bâtiment, fait le lien entre les différentes couches SIG.

La précision moyenne des données est de l'ordre de 30 centimètres.

4.3 INFORMATIONS ATTRIBUTAIRES

Des informations attributaires sont calculées automatiquement pour chaque objet géographique. Les attributs, différents pour chaque groupe, sont les suivants¹⁰ :

Base

- Numéro EGID
- Altitude de référence
- Surface au sol

Façades principales

- Numéro EGID
- Volume du bâtiment principal
- Surface totale
- Surface partagée
- Surface totale hors-sol

Toit principal

- Numéro EGID
- Altitude maximum de faîte
- Surface totale du toit
- Surface des avant-toits
- Pente minimum des toits
- Pente maximum des toits
- Pente moyenne
- Surface totale au sol

Façades des superstructures

- Numéro EGID
- Volume des superstructures
- Surface totale

Toits des superstructures

- Numéro EGID
- Altitude maximum du faîte
- Surface des toits

¹⁰ NIGGELER Laurent, *Cahier des charges technique Bâti 3D*, Direction cantonale de la mensuration officielle (DCMO), 2008, p. 8.

5. FORMAT CITYGML



5.1 CITYGML PRÉSENTATION

Le format de modélisation CityGML est destiné à la représentation et l'échange de modèles de villes 3D virtuels. Il se base sur le format XML, un standard de données qui exploite le balisage pour stocker ou transférer des informations sous forme de texte Unicode structuré en champs arborescents. Il est habituellement identifié par l'extension GML.

CityGML est implémenté en tant que schéma d'application pour le GML3, standard international pour l'échange de données spatiales émis par l'OGC et la norme ISO TC211, des organismes internationaux pour la standardisation des données géographiques.

Le format a été conçu par des informaticiens de l'Université Technique de Berlin regroupés au sein d'une équipe "Special interest group 3D", menée par le professeur Thomas Kolbe.

En août 2008, la norme CityGML 1.0.0 a été adoptée par l'OGC en tant que standard officiel. Il est devenu un standard international pour l'échange de données spatiales et plus particulièrement des modèles de villes 3D dans les domaines de l'urbanisme et de gestion des risques.

Malgré sa récente adoption, l'intérêt pour ce nouveau standard est réelle et son implémentation déjà effective. Le traducteur de données FME de Safe Software version 2009, permet de lire et d'écrire du CityGML, par ailleurs, la société AutoDesk propose un nouveau logiciel pour visualiser expressément du CityGML (LandXplorer).

Le format CityGML s'impose de plus en plus comme la référence pour l'échange de modèle 3D de villes numériques.

5.2 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

La structure CityGML définit des relations d'objets 3D et des classes thématiques en fonction de leurs propriétés notamment sémantiques, géométriques (incluant le géoréférencement des données), topologiques et d'apparence¹¹. Le format décrit les hiérarchies entre les objets et les classes thématiques, ainsi que leurs relations d'agrégation et leur propriété spatiales. Les informations thématiques dépassent les formats d'échange graphiques et permettent d'employer des modèles de villes 3D virtuels pour des tâches d'analyse sophistiquées dans des domaines d'application différents, tels que la simulation, l'exploration de données urbaines, et les requêtes thématiques.

La modélisation peut représenter un paysage urbain étendu, jusqu'à l'intérieur des bâtiments, où il est possible de modéliser une série d'information (matériaux de construction...). CityGML est ainsi présenté comme un *modèle de ville intelligent* et également appelé *modèles sémantiques de ville en 3D*¹².

5.3 MODULES

Le modèle de données CityGML se compose de modules définis pour les types les plus importants d'objets des modèles de villes virtuelles en 3D. Les modules correspondent au relief, à la végétation, à l'eau, au bâti, à l'apparence, aux transports, etc.

La description des objets comprend également leurs attributs spécifiques (fonction, année de construction, adresse,... lorsqu'il s'agit des bâtiments) et leurs relations dont celles d'agrégation. Par exemple, les modules d'objets 3D peuvent être décomposés en classes thématiques, tel est le cas pour le bâti, le module thématique étant le plus détaillé, ou encore les transports.

Pour valider les modules, des schémas de définition XML de CityGML doivent être importés dans le document CityGML.

¹¹ *CityGML Wiki*, [en ligne]: http://www.citygmlwiki.org/index.php/Main_Page, (page consultée le 20 juillet 2009).

¹² HESHMATI Nadia, *3D : des modèles de ville intelligents révolutionnent la 3D*, 2007 [en ligne] : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/51857.htm>, (page consultée le 10 mai 2009).

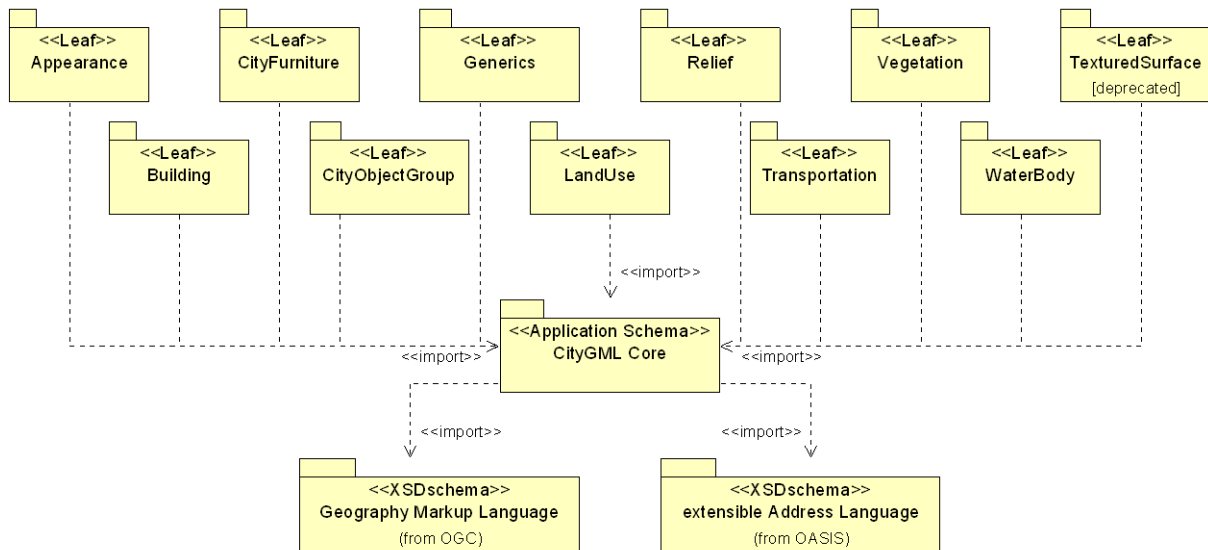


Figure 10: Diagramme illustrant les différents modules du format CityGML
(KOLBE Thomas and al., 2007, p.17)

5.4 STRUCTURE D'UN BÂTIMENT

Il faut noter que l'approche de cette étude est basée entièrement sur le bâti. Voici brièvement les caractéristiques d'un bâtiment.

Les bâtiments définis par l'objet *Building* peuvent être décomposés par des classes thématiques, selon le niveau de détail souhaité. Par exemple, à un niveau de détail moyen on peut différencier la base par *GroundSurface*, les façades par *WallSurface*, le toit par *RoofSurface* ; à un niveau de détail élevé les ouvertures, tel que les portes et les fenêtres peuvent être modélisés par *Opening*, ainsi que l'intérieur du bâtiment (cf. figure ci-dessous). Une autre classe thématique peut également être implémentée, il s'agit de *BuildingInstallation* qui peut représenter les superstructures des bâtiments tels que les lucarnes, les cheminées, ou encore les escaliers extérieurs et les balcons.

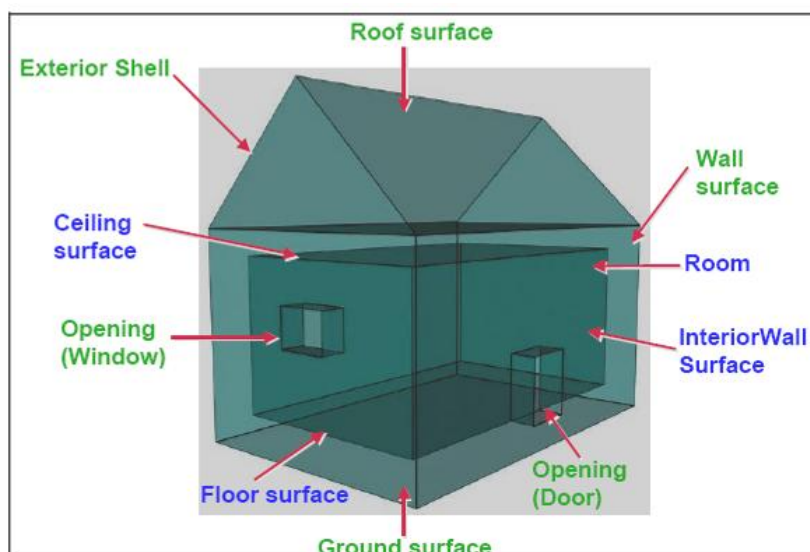


Figure 11: Surfaces composant un bâtiment (KOLBE Thomas and al., 2007, p. 62)

5.5 MODÉLISATION MULTI-ÉCHELLES

Le CityGML différencie cinq niveaux de détail abrégé LOD (level of detail), compris entre 0 et 4. Le LOD indique l'échelle de précision avec laquelle sont représentées les différentes caractéristiques du modèle. La définition du niveau de détail dépend de l'utilisation du modèle, par exemple pour modéliser la propagation du bruit depuis un axe routier, un niveau de détail 1 est suffisant, alors qu'il faut un niveau 4 pour calculer la superficie des pièces d'un bâtiment. Plus le niveau de détail est élevé plus le modèle est précis en matière de géométrie et riche en sémantique. Cependant, le LOD reste une spécification indicative qui n'implique pas de contrainte.

Les modèles peuvent gérer différents LOD simultanément, en fonction de l'objectif de précision de représentation. Lorsqu'un projet est présenté dans son contexte urbain, la nouvelle construction peut apparaître très détaillée, tandis que les bâtiments existants peuvent avoir un niveau de précision plus faible.

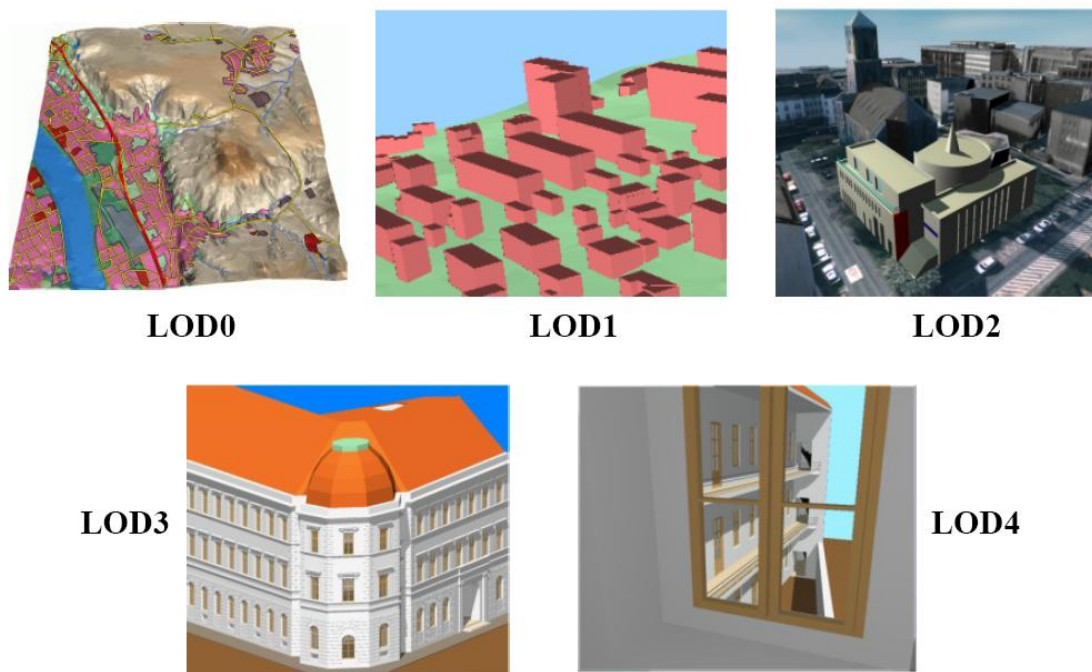


Figure 12: Les cinq niveaux de détail définis par le CityGML (KOLBE Thomas and al., 2007, p. 9)

Le niveau le plus généralisé, le LOD0, correspond à un modèle numérique de terrain permettant d'appréhender l'ensemble du paysage d'une région. Sa précision est inférieure à 5 mètres.

Avec le LOD1, seuls les objets importants sont modélisés, tel que le bâti. Les bâtiments sont schématisés sous forme de blocs sans détailler la toiture. La précision est de l'ordre de 5 mètres.

Le LOD2, donne un aperçu des grandes structures, par exemple les bâtiments possèdent une toiture. Les textures peuvent être plaquées sur les objets 3D et la couverture végétale peut également apparaître. La précision est de 2 mètres.

Le LOD3 est plus détaillé que le niveau précédent d'un point de vue architectural ; par exemple, les structures des toits sont présentes, les escaliers extérieurs, les cheminées, ainsi que les ouvertures

telles que les fenêtres et les portes. De plus, des textures à haute résolution peuvent être plaquées sur les objets. La précision des objets s'élèvent à 50 centimètres.

Le LOD4 complète le niveau 3 en y ajoutant les détails des structures intérieures. Par exemple, l'intérieur des bâtiments contient les portes intérieures, le sol, le plafond, les escaliers, et éventuellement les meubles. Sa précision atteint 20 centimètres.

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city districts, projects	architectural models (outside), landmark	architectural models (interior)
Class of accuracy	lowest	low	middle	high	very high
Absolute 3D point accuracy (position / height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Generalisation	maximal generalisation (classification of land use)	object blocks as generalised features; > 6*6m/3m	objects as generalised features; > 4*4m/2m	object as real features; > 2*2m/1m	constructive elements and openings are represented
Building installations	-	-	-	representative exterior effects	real object form
Roof form/structure	no	flat	roof type and orientation	real object form	real object form
Roof overhanging parts	-	-	n.a.	n.a.	Yes
CityFurniture	-	important objects	prototypes	real object form	real object form
SolitaryVegetationObject	-	important objects	prototypes, higher 6m	prototypes, higher 2m	prototypes, real object form
PlantCover	-	>50*50m	>5*5m	< LOD2	<LOD2
... to be continued for the other feature themes					

Figure 13: Niveau de détail CityGML avec précision géométrique
(KOLBE Thomas and al., 2007, p.10)

5.6 PROPRIÉTÉS GÉOMÉTRIQUES ET TOPOLOGIQUES

Des propriétés CityGML différencient le type de géométrie et définissent des règles topologiques selon l'objet modélisé.

Il existe plusieurs types de géométrie établis selon une hiérarchie : *Point*, *Curve*, *Surface* et *Solid*.

Par exemple, le bâtiment défini par l'élément *Building*, est représenté par une géométrie *Solid*, cependant lorsqu'il se décompose en plusieurs surfaces distinctives, par exemple par une base, un toit et des façades, la géométrie est décrite par *Surface*.

Une autre géométrie peut également être utilisée : *Geometry*. Cette propriété définit une géométrie générique, dans le cas où la géométrie des objets ne peut être interprétée, ce qui est le cas pour les objets appartenant à l'élément *BuildingInstallation*.

Par ailleurs, des préfixes (*Multi-*, *Composite-*, *Complex-*) sont ajoutés aux géométries, lesquels décrivent les relations topologiques entre les objets.

Multi définit des règles topologiques souples autorisant des relations spatiales disjointes, se chevauchant ou se touchant.

Complex correspond à une topologie structurée, les géométries peuvent être disjointes, se toucher, mais ne doivent pas se chevaucher.

Composite permet également la disjonction des éléments, mais ils doivent être topologiquement connectés le long de leur limite. Par ailleurs, il autorise uniquement des éléments de la même dimension.

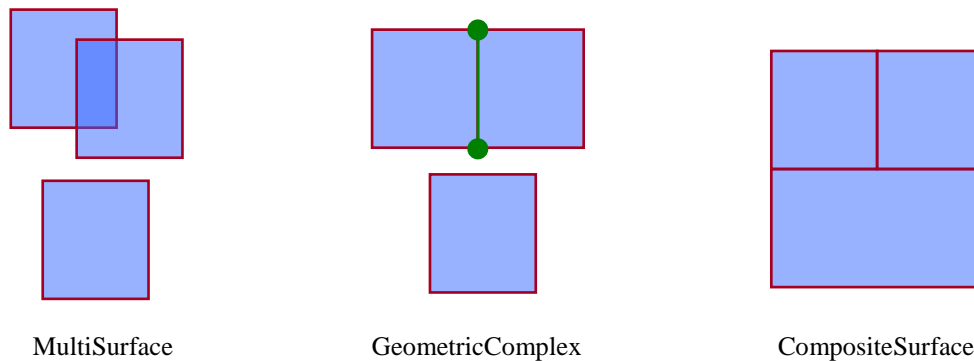


Figure 14: Différentes géométries combinées (KOLBE Thomas and al., 2007,p.24)

La géométrie se décompose ensuite selon une hiérarchie de classe, incluant des propriétés spatiales. Elle donne la position des objets référencés dans un système de coordonnées locales.

5.7 CONCORDANCE ENTRE LA SÉMANTIQUE ET LA GÉOMÉTRIE

Le format CityGML est conçu de manière à suivre une concordance entre la sémantique des objets et leurs propriétés géométriques et topologiques. Au niveau sémantique, les entités du monde réel sont représentées par leurs éléments, par exemple les bâtiments, les toits, les fenêtres. Les relations entre les différents éléments peuvent être étendues au niveau sémantique sans considérer la géométrie. Par contre, au niveau spatial, les objets géométriques sont associés aux éléments afin de représenter leurs localisations et extensions spatiales. Le modèle est ainsi composé de deux hiérarchies distinctes, l’une sémantique et l’autre géométrique dans lesquelles les objets sont reliés entre eux par des relations (cf. figure n°13).

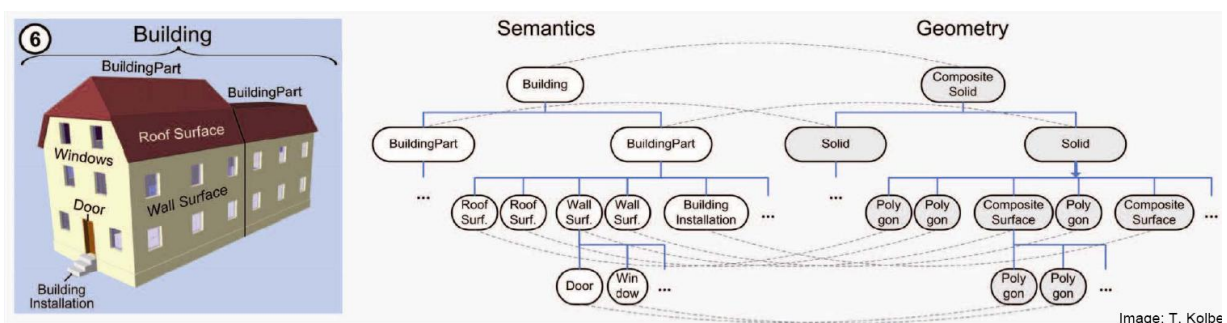


Figure 15: Relation entre les modèles sémantique et géométrique du CityGML d’un bâtiment (METRAL Claudine, 2009, p.30, source originale : KOLBE Thomas)

5.8 APPARENCE

CityGML peut gérer des textures sur l'ensemble des objets, sous forme d'image raster, par exemple et présente alors un modèle plus réaliste. L'information de l'apparence des surfaces fait parti intégrante des modèles de villes 3D en plus de la sémantique et de la géométrie.

5.9 RÉFÉRENCES EXTERNES

Les objets 3D proviennent souvent ou possèdent des relations avec d'autres objets issus d'autres bases de données. Par exemple, un modèle 3D de bâtiment a pu être construit à partir de données cadastrales 2D. Un objet 3D peut ainsi avoir une référence à une base de données externe, qui il est tout à fait possible d'associer à un modèle CityGML.

5.10 OBJETS URBAINS ET ATTRIBUTS GÉNÉRIQUES

Le CityGML a été conçu comme un modèle d'information topographique standard générique définissant les types d'objet et les attributs qui sont le plus utiles à la majorité des applications. Cependant, certaines applications particulières nécessitent des objets et des attributs qui ne sont pas explicitement modélisés dans CityGML. De plus, il est possible que des objets 3D ne soient pas inclus dans les classes thématiques. Le CityGML fournit deux concepts pour supporter l'échange de telles données :

- objets et attributs génériques (generic objects and attributes) ;
- extensions de domaine d'application (Application Domain Extensions - ADE).

5.10.1 OBJETS ET ATTRIBUTS GÉNÉRIQUES

Le concept d'objets et d'attributs génériques autorise l'extension des objets (CityObject) du CityGML par l'ajout d'attributs (noms, types de données,...). Ainsi, chaque objet peut être étendu par l'ajout de nouveaux attributs qui peuvent être utilisés sans aucun changement du schéma XML du CityGML.

Des éléments non représentés par les classes thématiques prédéfinies du modèle de données du CityGML peuvent être modélisés et échangés en utilisant des objets et attributs génériques ; ce qui est le cas pour les ponts, les tunnels et les murs, qui ne sont actuellement pas inclus dans des modèles thématiques explicites.

5.10.2 EXTENSIONS DE DOMAINE D'APPLICATION (ADE)

L'extension de domaine d'application est également un concept permettant d'ajouter des informations spécifiques à des modèles de données CityGML, où il est possible d'introduire de nouvelles propriétés aux classes existantes (par l'ajout d'attributs et de géométrie) et d'ajouter la définition de nouveaux objets, avec des thèmes spéciaux tels que le bruit ou les objets qui ne sont pas inclus dans CityGML.

La différence entre les ADE est les objets génériques et attributs est qu'un ADE doit être défini dans un fichier de définition de schéma XML supplémentaire avec son propre nom (namespace). Ce fichier

doit importer le schéma de définition XML des modules d'extension du CityGML (XML Schema definition of the extended CityGML modules).

PARTIE II : CONVERSION ENTRE LES DONNÉES MULTIPATCH ET CITYGML

Cette seconde partie présente concrètement le travail effectué en stage. La conversion automatisée des bâtiments tridimensionnels de Genève en format CityGML n'a pas été accomplie de manière évidente et spontanée, étant donné la rencontre de certaines difficultés, mais à travers une recherche assidue, avec de nombreuses tentatives parfois infructueuses et avec l'aide de conseils par un spécialiste en CityGML.

1. ÉTAPES DE LA CONVERSION

Le début du stage s'est attaché à la prise de connaissance de plusieurs documents et de lectures diverses, notamment sur le Projet 3D-MO, la pluralité des formats d'échange et de stockage 3D spécialisés dans la représentation de modèles de villes, ainsi que les logiciels utilisés. Le format CityGML a bien évidemment été le conducteur de cette recherche, mais d'autres formats tels que le Multipatch, KML et COLLADA ont été analysés.

Ainsi, l'étude principalement basée sur CityGML, a permis de se familiariser avec ce format, qui a été retenu par le SITG pour le partage de ces données géoréférencées de modélisation tridimensionnelle.

Les outils d'interopérabilité de données ont ensuite été examinés attentivement, afin d'observer les possibilités offertes pour la réalisation de conversions automatisées. Il s'agit des outils proposés par le traducteur FME version finale 2009.

Ce logiciel permet de réaliser une conversion entre les deux formats Multipatch - CityGML. Cependant, nous verrons plus loin que cette conversion automatique n'est pas satisfaisante sans l'apport de transformations semi-automatiques. En effet, le résultat de la conversion apparaît selon une structure générique CityGML, sans spécifications d'un modèle de bâtiment.

Mes connaissances du logiciel de traduction m'étant au préalable nulles, la continuité du travail de conversion s'est ensuite orientée sur une analyse approfondie des caractéristiques du format CityGML, tant au niveau la pertinence de l'utilisation de ce format, que de l'étude de sa structure descriptive et géométrique.

Après cette évaluation, une étude sur les différences et les contraintes entre le modèle de données des bâtiments 3D Multipatch converti par FME en CityGML (modèle générique non satisfaisant) et le modèle de données CityGML attendu (modèle caractéristique de bâtiments) a été réalisée. Les différences soulevées ont été réalisées en examinant les spécificités des bâtiments provenant de la norme CityGML 1.0.0 adoptée par l'OGC.

Un fichier modèle a pu être réalisé manuellement, représentant quelques bâtiments de Genève et leurs informations attributaires spécifiques, décrits par le format CityGML.

Des modifications ont par la suite été tentées en utilisant le langage VBScript pour automatiser les spécifications, ce qui n'a pas abouti en raison de la trop grande différence de structure.

Des échanges ont eu lieu avec le concepteur du standard CityGML, établi à l'Université de Berlin, Thomas Kolbe et en particulier son assistant de recherche Claus Nagel, qui à travers ces nombreux conseils, a permis de constituer de fichier modèle crée manuellement, puis de valider les travaux effectués.

Après la validation du fichier modèle, un retour sur le logiciel FME a été envisagé.

Entre temps des compléments d'informations sont apparus, concernant la conversion vers le format CityGML dans FME et qui sont devenus des indications très utiles (forum sur FME¹³).

Toutes ces démarches ont finalement abouti à la réalisation d'une traduction automatisée entre les deux formats, conforme au format CityGML 1.0.0 d'un modèle de bâtiments. Cette étude a également fait l'objet d'une documentation complète, remis au SOSI décrivant les spécifications CityGML.

2. SPÉCIFICATIONS POUR LA CONVERSION DES BÂTIMENTS 3D MULTIPATCH (ESRI) VERS CITYGML

Ce chapitre expose les spécifications nécessaires à la description d'un modèle de bâtiment en format standard CityGML, en tenant compte des caractéristiques notamment descriptive et attributaire de la base de données 3D Multipatch des bâtiments de Genève.

Les spécifications relevées proviennent de la norme CityGML en version 1.0.0 adopté par l'OGC.

Cette démarche qui a pour objectif de décrire le modèle 3D de Genève en CityGML, a permis de réaliser par la suite un script de traduction automatisé entre les deux formats, dont les manipulations sont présentées dans le chapitre suivant (cf. chapitre 3 de la partie II).

2.1 STRUCTURE DES BÂTIMENTS 3D CITYGML

2.1.1 PROPRIÉTÉS SÉMANTIQUE DES OBJETS 3D

Les objets 3D du modèle de Genève représentant des bâtiments, sont spécifiés selon la norme CityGML avec l'élément *Building*. Ils se répartissent dans quatre catégories représentées par: les bases avec *GroundSurface*, les façades avec *WallSurface*, les toits avec *RoofSurface*; pour les superstructures des façades et des toits, elles sont considérées comme des éléments *BuildingInstallation*. Un attribut de type *gml:name* permet de distinguer lesquelles appartiennent aux superstructures des façades ou des toits.

Association entre les couches Multipatch et les éléments CityGML:

BATIMENT_BASE: GroundSurface

BATIMENT_BASIC_FACADE: WallSurface

¹³ Opensubscribe, [*fme*] *Conversion to CityGML*, [en ligne]:

<http://www.opensubscriber.com/message/fmetalk@googlegroups.com/12156959.html>, (page consultée le 18 juin 09)

BATIMENT_BASIC_TOIT:	RoofSurface
BATIMENT_SP_FACADE:	BuildingInstallation (Superstructure of the wall)
BATIMENT_SP_TOIT:	BuildingInstallation (Superstructure of the roof)

2.1.2 ATTRIBUTS

Tous les attributs propres au modèle des bâtiments de Genève sont considérés comme des attributs génériques CityGML (cf. point 4.3 de la partie I).

2.1.3 NIVEAU DE DÉTAIL (LOD) ET GÉOMÉTRIE

Le niveau de détail, abrégé LOD (level of detail), identifié pour notre modèle de bâtiments est du LOD3, qui correspond à l'échelle du site / ville et modélise de manière détaillée l'architecture extérieure et où la précision de la géométrie correspond à environ 0.5 mètres.

Le type de géométrie est décrit par *Surface*, en effet lorsque l'élément *Building*, défini par une géométrie *Solid*, se décompose en plusieurs surfaces distinctives, comme il en n'est le cas pour les bâtiments de Genève, la géométrie est décrite par *Surface*.

Par ailleurs, le préfixe *Multi* est ajouté à *Surface* afin de définir des règles topologiques souples autorisant des relations spatiales disjointes, se chevauchant ou se touchant, entre les objets.

Le niveau de détail et la géométrie sont décrits dans une seule balise. Ainsi la propriété géométrique des trois surfaces sont définis par *lod3MultiSurface*.

Pour les éléments *BuildingInstallation*, la géométrie a pour exigence d'être générique et se décrit par *Geometry*. Le niveau de détail et la géométrie sont définis par *lod3Geometry*.

Ces propriétés géométriques décrivent de manière caractéristique le modèle. La géométrie se décompose ensuite selon une hiérarchie de classe, incluant des propriétés spatiales. Pour les quatre catégories composant les bâtiments, la géométrie est décrite selon la même structure, excepté la propriété regroupant le niveau de détail et la géométrie.

2.1.4 DIAGRAMME UML D'UN BÂTIMENT

Le modèle ci-dessous indique la structure sémantique d'un bâtiment de Genève (ici *_AbstractBuilding*), inspiré du modèle complet du diagramme UML de CityGML¹⁴.

¹⁴ GRÖGER Gerhard, KOLBE Thomas, CZERWINSKI Angela, NAGEL Claus, *OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*, Open Geospatial Consortium Inc., 2008, p. 57.


```

xmlns:smil20lang="http://www.w3.org/2001/SMIL20/Language"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xmlns:smil20="http://www.w3.org/2001/SMIL20/"
xmlns:xAL="urn:oasis:names:tc:ciq:xsd:schema:xAL:2.0"
xmlns:bldg="http://www.opengis.net/citygml/building/1.0"
xmlns:gen="http://www.opengis.net/citygml/generics/1.0"
xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/citygml/building/1.0
http://schemas.opengis.net/citygml/building/1.0/building.xsd
http://www.opengis.net/citygml/generics/1.0
http://schemas.opengis.net/citygml/generics/1.0/generics.xsd">

```

2.2.1.2 ENVELOPPE

L'enveloppe, un attribut optionnel de *CityModel*, donne des indications sur les coordonnées x, y, z minimum et maximum de l'ensemble du modèle, qui est décrit selon l'exemple ci-dessous:

```

<gml:boundedBy>
<gml:Envelope srsDimension="3">
<gml:lowerCorner>499613.338500001 115148.43 382.8699999999995</gml:lowerCorner>
<gml:upperCorner>499632.98 115201.120000001 399.6019999999999</gml:upperCorner>
</gml:Envelope>
</gml:boundedBy>

```

Balise enfant de *CityModel*:

- *CityObjectMember*

2.2.2 BALISE CITYOBJECTMEMBER

```
<CityObjectMember>
```

CityObjectMember est une propriété pour spécifier les types d'objets urbains du modèle. Pour notre modèle, seul l'objet *Building* est utilisé.

Balise enfant:

- *Building*

2.2.3 BALISE BUILDING

```
<bldg:Building>
```

L'élément *Building* est ajouté et associé à un identifiant *gml:id*. L'identifiant a pour contrainte d'être unique et ainsi d'apparaître qu'une seule fois dans le fichier, il doit également être alphanumérique. Dans le cas de Genève, l'identifiant correspondra à l'attribut *EGID* suivi de sa valeur. Par exemple:

```
<bldg:Building gml:id="EGID_1003085">
```

2.2.3.1 ATTRIBUTS

Dans le cas de Genève, deux attributs sont communs à l'ensemble des 5 couches Multipatch (*EGID* et *DATE_MAJ*). Ces attributs sont inclus comme attributs génériques du bâtiment et ne devront donc pas figurer dans les éléments : *GroundSurface*, *WallSurface*, *RoofSurface* et *BuildingInstallation*.

2.2.3.2 EGID

En plus de l'identifiant unique de *Building*, l'attribut *EGID* et sa valeur est rattaché à l'élément *Building*.

Exemple:

```
<bldg:Building gml:id="EGID_1003085">  
<gen:stringAttribute name="EGID">  
<gen:value>1003085</gen:value>  
</gen:stringAttribute>
```

2.2.3.3 DATE_MAJ

L'attribut *DATE_MAJ* qui correspond à la date de la mise à jour des données, est également inclus comme attribut du bâtiment.

Exemple:

```
<gen:stringAttribute name="DATE_MAJ">  
<gen:value>02-09-2009</gen:value>  
</gen:stringAttribute>
```

Balise enfant de *Building*

- *outerBuildingInstallation*
- *boundedBy*

2.2.4 BALISE OUTERBUILDINGINSTALLATION

```
<bldg:outerBuildingInstallation>
```

outerBuildingInstallation est une propriété décrivant les objets *BuildingInstallation* rattachés à *Building*.

Balise enfant:

- *BuildingInstallation*

2.2.5 BALISE BUILDINGINSTALLATION

```
<bldg:BuildingInstallation>
```

L'élément *BuildingInstallation* correspond aux superstructures des façades et des toits des bâtiments. La structure CityGML décrit d'abord *BuildingInstallation* avant de décrire les surfaces (*GroundSurface*, *WallSurface*, *RoofSurface*).

2.2.5.1 ATTRIBUTS

Un attribut de type *gml:name* est associé à *BuildingInstallation* pour différencier les superstructures des façades des superstructures des toits.

Les superstructures des façades:

```
<bldg:BuildingInstallation>  
<gml:name>Superstructure of the wall</gml:name>
```

Trois attributs de type double sont associés:

- *VOLUME*
- *SURFACE*
- *SPID*

Les superstructures des toits:

```
<bldg:BuildingInstallation>  
<gml:name>Superstructure of the roof</gml:name>
```

Trois attributs de type double sont associés:

- *ALTITUDE_MAX*
- *SURFACE_TOIT*
- *SPID*

Balise enfant:

- *lod3Geometry*

2.2.6 BALISE LOD3GEOMETRY

```
<bldg:lod3MultiSurface>
```

La propriété géométrique *lod3Geometry* représente le niveau de détail et le type de géométrie de *BuildingInstallation*.

Balise enfant:

- *MultiSurface*

2.2.7 BALISE BOUNDED BY

```
<bldg:boundedBy>
```

BoundedBy est une propriété décrivant les surfaces rattachées à *Building*.

Balise enfant:

- *GroundSurface*
- *WallSurface*
- *RoofSurface*

2.2.8 BALISE GROUND SURFACE

```
<bldg:GroundSurface>
```

GroundSurface est la surface correspondant à la base d'un bâtiment.

2.2.8.1 ATTRIBUTS

Dans le modèle de bâtiments de Genève, *GroundSurface* comprend deux attributs de type *double*:

- *ALTITUDE_REF*
- *SURFACE_SOL*

Balise enfant:

- *lod3MultiSurface*

2.2.9 BALISE WALL SURFACE

```
<bldg:WallSurface>
```

WallSurface est la surface correspondant aux façades d'un bâtiment.

2.2.9.1 ATTRIBUTS

WallSurface comprend quatre attributs de type *double*:

- *VOLUME*
- *SURFACE_TOTALE*
- *SURFACE_PARTAGE*
- *SURFACE_TOTALE_HS*

Balise enfant:

- *lod3MultiSurface*

2.2.10 BALISE ROOFSURFACE

```
<bldg:RoofSurface>
```

RoofSurface est la surface correspondant au toit d'un bâtiment.

2.2.10.1 ATTRIBUTS

RoofSurface comprend sept attributs de type *double*:

- *ALTITUDE_MAX*
- *SURFACE_TOTALE*
- *SURFACE_AVANT_TOIT*
- *PENTE_MIN*
- *PENTE_MAX*
- *PENTE_MOY*
- *SURFACE_TOTALE_SOL*

Balise enfant:

- *lod3MultiSurface*

2.2.11 BALISE LOD3MULTISURFACE

```
<bldg:lod3MultiSurface>
```

La propriété géométrique *lod3MultiSurface* représente le niveau de détail et le type de géométrie des surfaces.

Balise enfant:

- *MultiSurface*

2.2.12 BALISE MULTISURFACE

```
<gml:MultiSurface>
```

Le contenu de la balise *MultiSurface* est agrémenté de la spécification de la dimension des objets et le système de coordonnées utilisé.

Exemple:

```
<gml:MultiSurface srsDimension="3" srsName="EPSG:21781">
```

Balise enfant:

- *surfaceMember*

2.2.13 BALISE SURFACEMEMBER

<gml:surfaceMember>

surfaceMember est une propriété rattachant les polygones aux surfaces.

Balise enfant:

- *Polygon*

2.2.14 BALISE POLYGON

<gml:Polygon>

Le polygone spécifie le type de géométrie composant les surfaces.

Balise enfant:

- *exterior*

2.2.15 BALISE EXTERIOR

<gml:exterior>

La propriété *exterior* indique que la modélisation des surfaces correspond à l'extérieur du bâtiment.

Balise enfant:

- *LinearRing*

2.2.16 BALISE LINEARRING

<gml:LinearRing >

Cette géométrie de type ligne décompose la géométrie de type *Polygon*.

Balise enfant:

- *posList*

2.2.17 BALISE POSLIST

<gml:posList>

Cette balise liste les coordonnées x, y et z des vertex des polygones 3D.

Exemple:

<gml:posList>499614.350000001 115198.859999999 382.869999999995 </gml:posList>

2.3 EXEMPLE DE LA STRUCTURE D'UN BÂTIMENT CITYGML EN LANGAGE XML

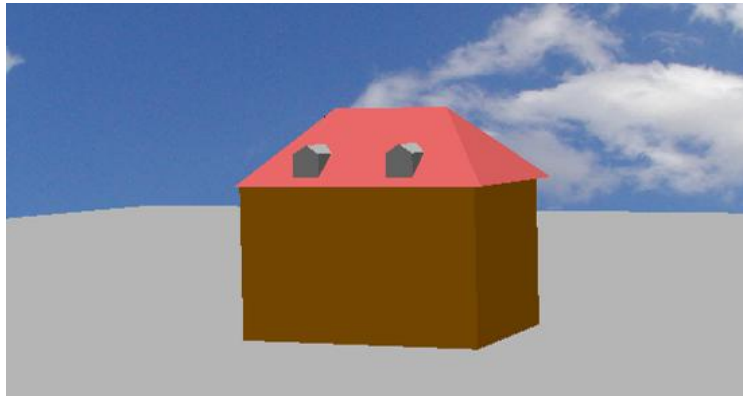


Figure 17 : Représentation 3D d'un bâtiment de Genève décrit par les balises CityGML (viewer Aristoteles)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<CityModel xmlns="http://www.opengis.net/citygml/1.0"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
  xmlns:smil20lang="http://www.w3.org/2001/SMIL20/Language"
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
  xmlns:smil20="http://www.w3.org/2001/SMIL20/"
  xmlns:xAL="urn:oasis:names:tc:ciq:xsd:schema:xAL:2.0"
  xmlns:bldg="http://www.opengis.net/citygml/building/1.0"
  xmlns:gen="http://www.opengis.net/citygml/generics/1.0"
  xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/citygml/building/1.0
http://schemas.opengis.net/citygml/building/1.0/building.xsd
http://www.opengis.net/citygml/generics/1.0
http://schemas.opengis.net/citygml/generics/1.0/generics.xsd">
  <gml:boundedBy>
    <gml:Envelope srsDimension="3">
      <gml:lowerCorner>499613.338500001 115148.43 382.86999999999995</gml:lowerCorner>
      <gml:upperCorner>499632.98 115201.120000001 399.60199999999999</gml:upperCorner>
    </gml:Envelope>
  </gml:boundedBy>
  <cityObjectMember>
    <bldg:Building gml:id="EGID_1003085">
      <gen:stringAttribute name="EGID">
        <gen:value>1003085</gen:value>
      </gen:stringAttribute>
      <gen:stringAttribute name="DATE_MAJ">
        <gen:value>02-09-2009</gen:value>
      </gen:stringAttribute>
      <bldg:outerBuildingInstallation>
        <bldg:BuildingInstallation>
          <gml:name>Superstructure of the wall</gml:name>
        </bldg:BuildingInstallation>
      </bldg:outerBuildingInstallation>
    </bldg:Building>
  </cityObjectMember>
</CityModel>
```

```

<gen:doubleAttribute name="VOLUME">
  <gen:value>2.55</gen:value>
</gen:doubleAttribute>
...
<bldg:lod3Geometry>
  <gml:MultiSurface srsDimension="3" srsName="EPSG:21781">
    <gml:surfaceMember>
      <gml:Polygon>
        <gml:exterior>
          <gml:LinearRing>
            <gml:posList>499616.8774 115190.515299998 393.309999999998
              499615.704 115190.370999999 392.432700000005...
            </gml:posList>
          </gml:LinearRing>
        </gml:exterior>
      </gml:Polygon>
    </gml:surfaceMember>
    ...
  </gml:MultiSurface>
</bldg:lod3Geometry>
</bldg:BuildingInstallation>
</bldg:outerBuildingInstallation>
<bldg:outerBuildingInstallation>
  <bldg:BuildingInstallation>
    <gml:name>Superstructure of the roof</gml:name>
    <gen:doubleAttribute name="ALTITUDE_MAX">
      <gen:value>393.71</gen:value>
    </gen:doubleAttribute>
    ...
  <bldg:lod3Geometry>
    <gml:MultiSurface srsDimension="3" srsName="EPSG:21781">
      <gml:surfaceMember>
        <gml:Polygon>
          <gml:exterior>
            <gml:LinearRing>
              <gml:posList>499617.4965 115189.8972 393.710000000006
                499615.7881 115189.687100001 393.710000000006...
              </gml:posList>
            </gml:LinearRing>
          </gml:exterior>
        </gml:Polygon>
      </gml:surfaceMember>
      ...
    </gml:MultiSurface>
  </bldg:lod3Geometry>

```

```

</bldg:BuildingInstallation>
</bldg:outerBuildingInstallation>
<bldg:boundedBy>
  <bldg:GroundSurface>
    <gen:doubleAttribute name="ALTITUDE_REF">
      <gen:value>382.87</gen:value>
    </gen:doubleAttribute>
    ...
    <gml:MultiSurface srsDimension="3" srsName="EPSG:21781">
      <gml:surfaceMember>
        <gml:Polygon>
          <gml:exterior>
            <gml:LinearRing>
              <gml:posList>499614.350000001 115198.859999999 382.869999999995
                499614.9298 115198.942200001 382.869999999995...
            </gml:posList>
          </gml:LinearRing>
        </gml:exterior>
      </gml:Polygon>
    </gml:surfaceMember>
  </gml:MultiSurface>
</bldg:lod3MultiSurface>
</bldg:GroundSurface>
</bldg:boundedBy>
<bldg:boundedBy>
  <bldg:WallSurface>
    <gen:doubleAttribute name="VOLUME">
      <gen:value>1671.2</gen:value>
    </gen:doubleAttribute>
    ...
  <bldg:lod3MultiSurface>
    <gml:MultiSurface srsDimension="3" srsName="EPSG:21781">
      <gml:surfaceMember>
        <gml:Polygon>
          <gml:exterior>
            <gml:LinearRing>
              <gml:posList>499627.039999999 115186.079999998 382.869999999995
                499624.940000001 115200.41 382.869999999995...
            </gml:posList>
          </gml:LinearRing>
        </gml:exterior>
      </gml:Polygon>
    </gml:surfaceMember>
    ...
  </gml:MultiSurface>

```

```

    </bldg:lod3MultiSurface>
  </bldg:WallSurface>
</bldg:boundedBy>
<bldg:boundedBy>
  <bldg:RoofSurface>
    <gen:doubleAttribute name="ALTITUDE_MAX">
      <gen:value>396.32</gen:value>
    </gen:doubleAttribute>
    ...
  <bldg:lod3MultiSurface>
    <gml:MultiSurface srsDimension="3" srsName="EPSG:21781">
      <gml:surfaceMember>
        <gml:Polygon>
          <gml:exterior>
            <gml:LinearRing>
              <gml:posList>499615.699499998 115184.193500001 391.869999999995
                499613.809999999 115199.559999999 391.869999999995 ...
            </gml:posList>
          </gml:LinearRing>
        </gml:exterior>
      </gml:Polygon>
    </gml:surfaceMember>
    ...
  </gml:MultiSurface>
</bldg:lod3MultiSurface>
</bldg:RoofSurface>
</bldg:boundedBy>
</bldg:Building>
</cityObjectMember>
</CityModel>

```

3. CONVERSION DE LA BASE DE DONNÉES MULTIPATCH VERS CITYGML

Cette partie présente une marche à suivre pour la conversion automatisée d'une base de données 3D en format Multipatch vers le format standard de données 3D CityGML.

Des tests de conversion à l'aide du traducteur FME ont été effectués au SOSI, afin d'obtenir le fichier modèle CityGML présenté dans le chapitre 5. Cette partie met en évidence les différences de structure entre les deux formats et les contraintes de la conversion, où la structure CityGML est interprétée selon des éléments génériques. Afin de spécifier la structure sémantique CityGML d'un modèle de bâtiments, la conversion a été agrémentée de modifications dans FME avec notamment l'utilisation des outils Transformers. Toutes les opérations effectuées sont décrites au point 3.3 de cette deuxième partie.

3.1 LOGICIELS ET APPLICATIONS UTILISÉES POUR LA CONVERSION DES DONNÉES 3D

- ArcGIS Desktop 9.3 et particulièrement ArcScene, pour visualiser la base de données Multipatch ;
- Aristoteles, viewer basé sur le GML3 3D version 1.2.01, logiciel open source de l'Institut de Géodésie et Géoinformation de Bonn en java, pour visualiser des modèles CityGML et vérificateur XML ;
- FME Workbench version finale 2009 de l'éditeur SAFE Software, le traducteur de données utilisé pour la conversion entre les deux formats de données;
- Notepad2, pour visualiser les fichiers CityGML et constituer les scripts VBS ;
- VBScript, pour permettre de programmer une modification automatisée.

3.2 CONTRAINTES DE LA CONVERSION DANS LE TRADUCTEUR FME

La base de données géographique Multipatch utilisée pour la conversion correspond à la modélisation tridimensionnelle des bâtiments de Genève. Plus particulièrement, les bâtiments sur la commune de Carouge sont utilisés, s'agissant de données dont la mise à jour est la plus récente sur le canton. Pour simplifier la conversion trois bâtiments ont été extraits de la base de données de Carouge.

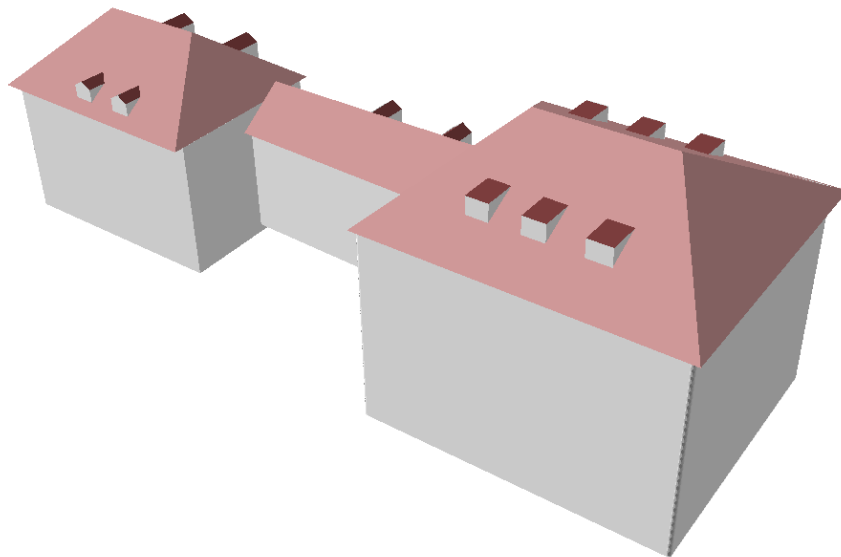


Figure 18 : Les trois bâtiments de Genève extraits de la base de données de Carouge

La base de données Multipatch est convertie à l'aide du traducteur FME Workbench, du format ESRI Geodatabase (MDB) vers le format CityGML. Lors de la conversion, les paramètres (*Settings*) pour la

version d'écriture de CityGML est de 1.0 correspondant à la norme officielle et internationale adoptée par l'OGC.

Cependant cette conversion automatique n'est pas satisfaisante. Une différence fondamentale existe en effet entre la structure de la base de données au format Multipatch et CityGML.

La base de données Multipatch est constituée de cinq couches qui composent le bâti. La conversion par FME identifie ces couches comme des objets à part entière et selon une structure générique CityGML. Non seulement la spécification de la structure d'un bâtiment n'est pas interprétée, mais les propriétés géométriques propre au modèle de Genève non plus.

Structure générique CityGML

Objets 3D: *GenericCityObject*

Géométrie: *lod4Geometry*

Selon la norme CityGML, la structure d'un bâtiment est décrite par un seul objet *Building* qui regroupe les surfaces qui le composent.

Ainsi, les cinq couches converties en CityGML doivent être spécifiées non pas comme des objets, listés les uns après les autres, mais comme des classes thématiques faisant parti de l'objet *Building*.

Dans FME, il est toutefois possible de modifier la structure générique CityGML par les propriétés sémantiques et géométriques spécifiques à un modèle de bâtiment CityGML. Par ailleurs, en assignant un identifiant unique *gml_id* à la couche parente correspondant à l'objet *Building* et *gml_parent_id* aux couches enfants correspondant aux classes thématiques *BuildingInstallation*, *GroundSurface*, *WallSurface* et *RoofSurface*; cette démarche permet de recomposer automatiquement les bâtiments selon la structure CityGML. L'attribut *EGID* qui correspond au critère d'identifiant unique est attribué aux deux identifiants.

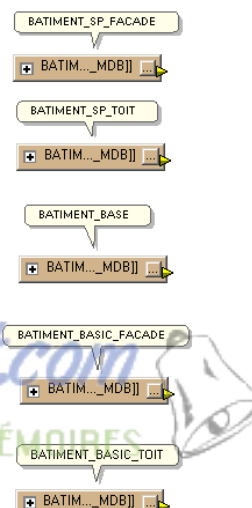
3.3 MODIFICATIONS DANS FME

Nous présentons ici la totalité des opérations qui doivent être faites pour obtenir la conversion du Multipatch vers CityGML

Modifications à effectuer pour les cinq couches Multipatch:

- 1) Organiser les couches selon l'ordre souhaité dans le document de sortie CityGML:

- BATIMENT_SP_FACADE
- BATIMENT_SP_TOIT
- BATIMENT_BASE
- BATIMENT_BASIC_FACADE
- BATIMENT_BASIC_TOIT



Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRE

2) Transformer *Concatenator*

Pour les cinq couches, le préfixe *EGID_* est ajouté à la valeur de l'attribut *EGID*. Ce nouvel attribut est nommé *gml_parent_id*, il va spécifier les relations avec l'identifiant *gml_id* de la couche parente *Building*.

3) Transformer *AttributeRemover*

Pour les cinq couches, les attributs « système », propre au format ESRI, sont supprimés: *geodb_oid* et *OBJECTID*. L'attribut *DATE_MAJ* et *EGID* sont également supprimés, ils ne seront assignés qu'à la couche *Building*.

4) Transformer *AttributeCreator*

Pour les superstructures des façades et des toits, trois attributs sont créés et associés à des valeurs constantes:

- *citygml_feature_role* où la valeur correspond à *outerBuildingInstallation*
- *citygml_lod_name* où la valeur correspond à *lod3Geometry*
- *gml_name* où la valeur correspond soit à *Superstructure of the wall* pour les superstructures des façades, soit à *Superstructure of the roof* les superstructures des toits.

Pour les trois surfaces (base, façades et toits) deux attributs sont créés et associés à des valeurs constantes:

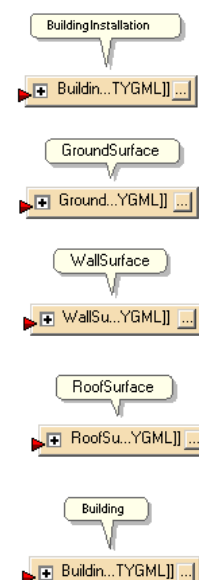
- *citygml_feature_role* où la valeur correspond à *boundedBy*
- *citygml_lod_name* où la valeur correspond à *lod3MultiSurface*.

5) Transformer *GeometryTraitSetter*

Cette fonction permet la spécification des traits de la géométrie, *citygml_feature_role* et *citygml_lod_name* sont les attributs à cocher dans la liste.

6) Les couches de destination de la conversion sont créées et renommées selon les propriétés CityGML. Toutes doivent avoir le même fichier de sortie à l'extension GML.

BATIMENT_SP_FACADE:	BuildingInstallation
BATIMENT_SP_TOIT:	BuildingInstallation
BATIMENT_BASE:	GroundSurface
BATIMENT_BASIC_FACADE:	WallSurface
BATIMENT_BASIC_TOIT:	RoofSurface



Remarque: il n'est pas possible de créer plusieurs couches avec le même nom. Les deux couches des superstructures sont fusionnées dans une couche de sortie *BuildingInstallation* (après l'utilisation du Transformer *GeometryTraitSetter*).

Les attributs du Transformer *GeometryTraitSetter* sont copiés dans les quatre couches de sortie.

Modifications à effectuer pour la couche *Building*

- 1) Une couche de sortie nommée *Building* est créée. Elle correspond à la couche parente des cinq couches. Elle doit être liée à une seule couche enfant d'origine, soit: *BATIMENT_BASE*, *BATIMENT_BASIC_FACADE* ou *BATIMENT_BASIC_TOIT*, mais ne doit pas être liée aux couches des superstructures car les bâtiments de Genève n'en possèdent pas tous ou en possèdent plus d'une, ce qui affecte la conversion.

Cette manipulation récupère les attributs.

- 2) Transformer *AttributeKeeper*

Seuls les attributs *EGID* et *DATE_MAJ* sont gardés.

- 3) Transformer *Concatenator*

Le préfixe *EGID_* est ajouté à la valeur de l'attribut *EGID*. Ce nouvel attribut est nommé *gml_id*, il fait le lien entre les couches enfants qui contiennent la même valeur dans l'identifiant *gml_parent_id*.

Après ces modifications, la conversion peut être lancée et s'effectuer automatiquement pour le modèle de données bâti 3D Multipatch du SITG.

Seul différence issue de la conversion est qu'il manque certaines références, attributs de *CityModel*, pour valider le modèle de bâtiments. Les références peuvent être ajoutées de manière semi-automatique avec l'utilisation d'un document VBScript. Les lignes de références ne correspondant pas à la description du modèle, soit les trois premières lignes, sont supprimées, puis remplacées par les références exactes.

```

1 'Script modifiant l'entête du document CityGML, comportant les références du modèle.
2
3
4 Const ForReading = 1
5 Const ForWriting = 2
6
7 'CHEMIN D'ACCES DES FICHIERS
8 Fichier_CityGML="chemin d'accès"
9 Fichier_CityGML_2= "chemin d'accès" 'Crée un autre fichier
10
11 'Supprime les 3 premières lignes du fichier, référence à CityModel
12 Set objFSO = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
13 Set objTextFile = objFSO.OpenTextFile(Fichier_CityGML,ForReading)
14 strText = objTextFile.ReadAll
15 objTextFile.Close
16 arrLines = Split(strText, vbLf)
17 Set objFile = objFSO.CreateTextFile (Fichier_CityGML_2,ForWriting)
18 For i = 3 to (Ubound(arrLines)- 1)
19 objFile.WriteLine arrLines(i)
20 Next
21 objFile.close
22
23
24 'Ajoute les nouvelles références
25 Set objFile = objFSO.OpenTextFile (Fichier_CityGML_2, ForReading)
26 strText = objFile.ReadAll
27 objFile.close
28 strNewText = Replace (strText,"<gml:boundedBy>","<?xml version=""1.0"" encoding=""UTF-8""
standalone=""yes""?>" & vbLf &"<CityModel xmlns=""http://www.opengis.net/citygml/1.0""
xmlns:xsi=""http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"" xmlns:gml=""http://www.opengis.net/gml""
xmlns:smil20lang=""http://www.w3.org/2001/SMIL20/Language"" xmlns:xlink="" http://www.w3.org/1999/xlink""
xmlns:smil20=""http://www.w3.org/2001/SMIL20/">" & vbLf &"<gml:boundedBy>")
29 Set objFile = objFSO.OpenTextFile (Fichier_CityGML_2, ForWriting)
30 objFile.WriteLine strNewText
31 objFile.close

```

Figure 19 : Script VBS modifiant l'entête du document CityGML, comportant les références du modèle

Finalement, les manipulations sont enregistrées dans un projet FME et le document VBS l'accompagne afin d'obtenir la conversion complète et exacte.

La création de ce convertisseur pourra être utilisée dans les scripts d'extraction du SITG, où il sera possible de choisir le téléchargement des données en format CityGML.

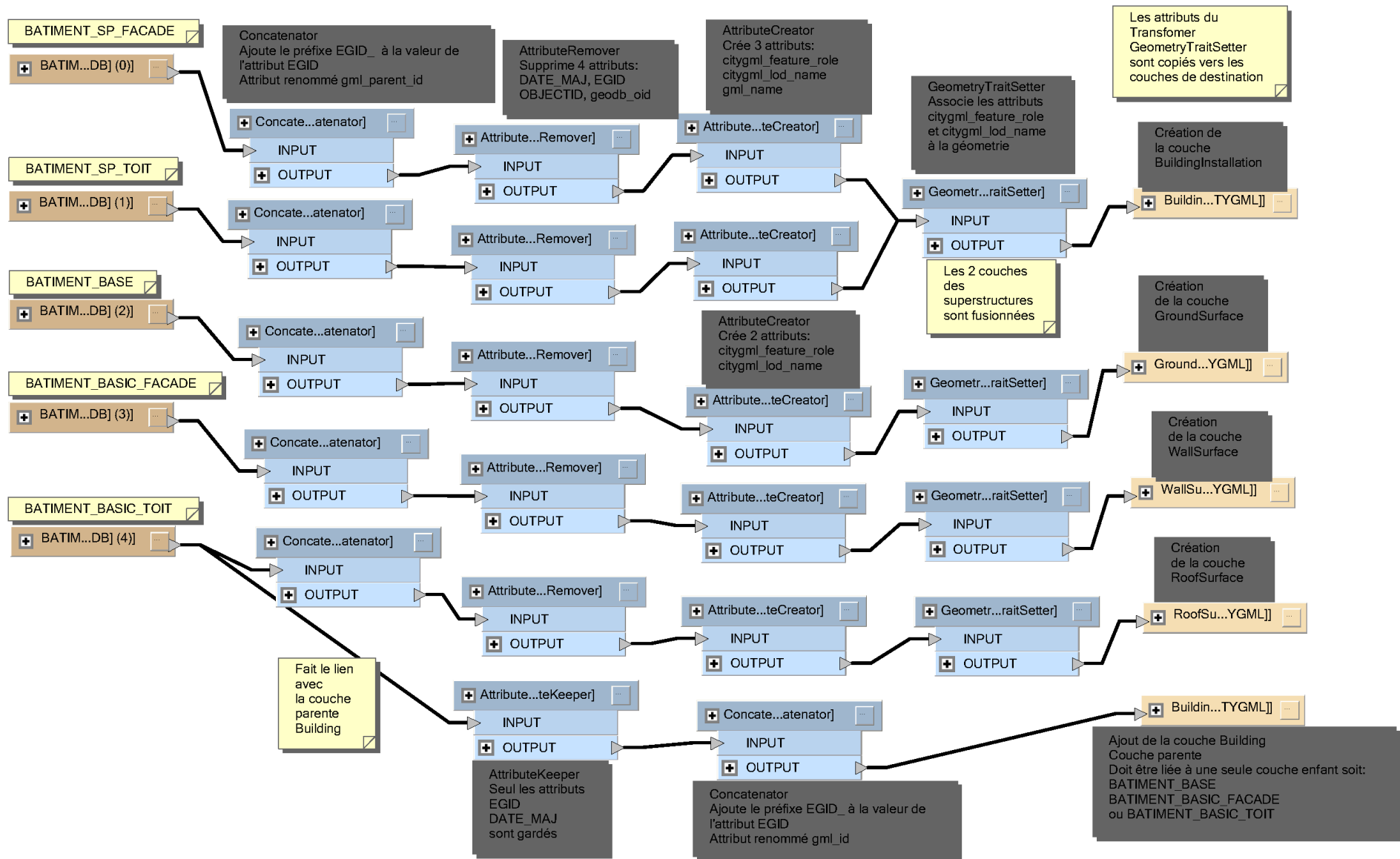


Figure 20 : Conversion dans FME du format Multipatch vers CityGML

4. CONCLUSION

Au terme de ce travail issu du stage au SOSI, nous avons pu aborder une problématique sous deux angles différents. Ce travail en effet constitué de deux parties, l'une théorique et descriptive, l'autre pratique, reflète très bien le travail effectué en stage.

Dans la première partie, pour contextualiser notre réflexion globale, nous avons évoqué que la modélisation tridimensionnelle apparaît être un outil très performant pour gérer le territoire et cela pour une palette d'experts. Elle permet de mieux appréhender le territoire, en améliorant la capacité de représentation de problématiques territoriales. Mais si elle est en grande partie utilisée par les professionnels du territoire, la représentation 3D est autant importante à l'usage des élus et de la population, laquelle favorise le dialogue et la compréhension de diverses problématiques, en particulier lorsqu'il s'agit de projets architecturaux ou d'aménagement.

C'est dans cette perspective que Genève a choisi de se doter d'un SIG 3D. Pour favoriser le partage des données 3D, non seulement à de multiples professionnels du territoire, mais aussi à une diversité d'acteurs, l'ambition du SITG est de diffuser les informations géographiques tridimensionnelles de Genève dans un format interopérable.

Cependant garantir l'interopérabilité des données n'est pas toujours évident, ce qui a été le cas entre le format de données Multipatch et CityGML.

La seconde partie de ce rapport s'est ainsi centrée sur la recherche de la conversion entre les deux formats. Elle est constituée en premier lieu de spécifications nécessaires à la description des bâtiments de Genève, puis en second lieu des manipulations effectuées à travers l'interface de FME.

L'objectif de départ du stage a été atteint, mais n'aurait pas pu aboutir sans discussions, conseils d'experts et de recherches adaptées.

Au final, cette expérience s'est avérée très intéressante et enrichissante, au vue de la grande quantité et diversités d'informations reçues, puis leurs mises en pratique.

Elle m'a permis d'approfondir mes connaissances, d'une part sur CityGML, tant au niveau de la pertinence de son utilisation dans la modélisation 3D, que la constitution des données ; et d'autre part, de me familiariser avec des outils de programmation et de géotraitement, qui me seront sans aucun doute utile dans mon avenir.

5. BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages, articles et textes officiels confondus :

- BALANCHE Robert, *Projet 3D-MO*, 2008, [article en ligne] :
<http://www.cadastre.ch/internet/cadastre/fr/home/docu/publication/F007.parsys.26586.downloadList.15240.DownloadFile.tmp/info200833dprojektbarfr.pdf>
- CHILDS Matt, LOMAX Paul et PETRUSHA Ron, *VBScript - précis & concis*, O'Reilly, 2001.
- ESRI, *The Multipatch Geometry Type*, ESRI® White Paper, 2008 [en ligne]:
http://downloads2.esri.com/support/whitepapers/ao_/J9749_MultiPatch_Geometry_Type.pdf
- GRÖGER Gerhard, KOLBE Thomas, CZERWINSKI Angela, NAGEL Claus, *OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*, Open Geospatial Consortium Inc., 2008, [en ligne]:
http://portal.opengeospatial.org/modules/admin/license_agreement.php?suppressHeaders=0&access_license_id=3&target=http://portal.opengeospatial.org/files/index.php?artifact_id=28802
- HESHMATI Nadia, *3D : des modèles de ville intelligents révolutionnent la 3D*, 2007, [en ligne] :
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/51857.htm>
- ISIKDAG Umit et ZLATANOVA Sisi, «Towards defining a framework for automatic generation of buildings in CityGML using Building Information Models», in *3D Geo-Information Sciences*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, 2009, pp. 79-96.
- METRAL Claudine, *Dimensions spatiales, temporelles et sémantiques de l'environnement urbain*, 2009, [en ligne]:
http://infogeo.unige.ch/IMG/pdf/Metral_Intro_080109.pdf
- NIGGELER Laurent, *Cahier des charges technique Bâti 3D*, Direction cantonale de la mensuration officielle (DCMO), 2008.
- NIGGELER Laurent, *Article technique, Genève en 3D: une nouvelle dimension pour gérer son territoire*, 2008, [en ligne] :
<http://www.cadastre.ch/internet/cadastre/fr/home/docu/publication/F006.parsys.43137.downloadList.97596.DownloadFile.tmp/info200833dgenfniggelerfr.pdf>
- SUTER Christophe, COUDERQ Stéphane, et NIGGELER Laurent, « Genève voit son SIG en 3D » in *Géomatique Expert*, N° 64, août - septembre 2008, [en ligne] :
http://www.geomag.fr/rev/pdf/64_79.pdf
- TAHE Serge, *Introduction au langage VBScript*, 2002.
- VIEIRA DE MELLO Adrien, *Projet 3D-MO*, Direction Cantonal de la Mensuration Officielle (DCMO) / Service des Systèmes d'Information et de Géomatique (SSIG), Etat de Genève, 2006.

Sites internet:

- CityGML :
<http://www.citygml.org/>
<http://www.citygmlwiki.org/>
- FME:
<http://www.fmepedia.com/index.php/CityGML>
http://www.safe.com/reader_writerPDF/citygml.pdf
- Le portail de la Mensuration Officielle Suisse :
<http://www.cadastre.ch/>
- Le Service de la Mensuration Officielle de Genève :
<http://etat.geneve.ch/dt/dcmo/accueil.html>
- Le Système d'Information du Territoire Genevois :
<http://www.sitg.ch/>
- Open Geospatial Consortium (OGC) :
<http://www.opengeospatial.org/>