HAL
open science

Potentialités d'un socle de données 3D pour une grande collectivité : le cas de Metz Métropole

Thomas Dalstein

To cite this version:

Thomas Dalstein. Potentialités d'un socle de données 3D pour une grande collectivité : le cas de Metz Métropole. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2014. dumas-01164687

HAL Id: dumas-01164687

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01164687v1

Submitted on 17 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM

Spécialité : Géomètre et Topographe

par

Thomas DALSTEIN

Potentialités d'un socle de données 3D pour une grande collectivité :

le cas de Metz Métropole.

Soutenu le 08 juillet 2014

JURY

PRESIDENT : **M. Christian MORIN**

MEMBRES : **M. Emmanuel PINA, maître de stage**
M. Jean-Michel FOLLIN, professeur référent
M. Arnauld GALLAIS
Mme. Aline BRUYERE
M. Marc DESPRES
M. Anthony GUEROUT
Mme. Elise JACQUET

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaiterais remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce travail de fin d'études et à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur Emmanuel PINA, mon maître de stage, qui m'a accueilli au sein de son service. Il a pu m'apporter de nombreux conseils que ce soit dans ma réflexion ou lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais adresser mes remerciements à Monsieur Jean-Michel FOLLIN, mon professeur référent, pour ses indications pertinentes qui m'ont permis d'avancer et de structurer l'ensemble de ce travail durant la phase de rédaction.

Un grand merci à Sébastien AUBERT, François MAIRE et Christophe MICHEL, trois agents du service qui m'ont apporté leur aide pour la prise en main des logiciels et des données ainsi que pour les opérations informatiques réalisées.

Je ne voudrais pas oublier Céline COLLIGNON pour les documents et liens utiles qu'elle a pu me fournir tout au long de ce travail. De même que Lydia DAOUD pour son apport lors des procédures administratives et correspondances formelles avec des tiers.

Je remercie également toutes les autres personnes du service qui ponctuellement m'ont accordé de leur temps pour me fournir des réponses productives : David BEAUPIED, Vanessa BOUILLE, Philippe DEDUN, Eric DELAITE, Francis GIUDICI, Joël LIENHARDT, Aymeric MERCIER, Daniel PICCO et Marc THISSE.

Je poursuis avec toutes les entreprises et groupement qui m'ont répondu amicalement lors de mes prises de contacts : l'équipe de VirtuelCity, les développeurs de l'outil Vizitown, la société Oslandia, la société Unity, le groupe 1Spatial et la société IGO.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont participé à la relecture de ce mémoire et plus particulièrement Jessica THOMAS qui a pu y consacrer beaucoup de son temps. Tout comme je remercie ma famille pour son soutien tout au long de ma scolarité.

Liste des abréviations

BIM : Building Information Modeling

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CityGML : City Geography Markup Language

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur

GML : Geography Markup Language

GNSS : Global Navigation Satellite System

HTML : HyperText Markup Language

IGN : Institut National de l'information Géographique et forestière

IOS : Iphone Operating System

LOD : Level Of Detail

LIDAR : LIght Detection And Ranging

MNE : Modèle Numérique d'Elevation

MNS : Modèle Numérique de Surface

MNT : Modèle Numérique de Terrain

OAP : Orientations d'Aménagement et de Programmation

OGC : Open Geospatial Consortium

PC : Permis de Construire

PLU : Plan Local d'Urbanisme

SDK : Software Development Kit

SGBD : Système de Gestion de Bases de Données

SIG : Système d'Information Géographique

SQL : Structured Query Language

XML : eXtensible Markup Language

ZAC : Zone d'Aménagement Concerté

Glossaire

Complétude : c'est la caractéristique d'un ensemble à être complet, c'est-à-dire à contenir la totalité de ce qu'il doit représenter (par exemple, si l'on souhaite obtenir tous les immeubles de plus de 15m, est-ce que les données finales contiennent bien tous ces éléments ?).

Forme des données : renvoie au format dans lequel elles se trouvent.

Géoréférencer : action qui consiste à attribuer à un objet des coordonnées géographique dans un système de coordonnées défini afin de connaître la position de cet objet sur le globe terrestre.

Orthophotogaphie : c'est une image obtenue à partir de clichés aériens argentiques ou numériques qui ont subi des opérations de rectification afin de corriger les défauts de la prise de vue telles que les déformations optiques, l'erreur de parallaxe ou les différences de radiométrie. De plus elle est géoréférencée pour que chacun de ses points soit superposable au point d'une carte plane qui lui correspond. Ainsi, elle présente à la fois les caractéristiques d'une image et celles d'une carte.

Précision : elle correspond à une classe de précision au sens de l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision (De Robien, 2003).

Qualité des données: elle se divise en deux concepts. D'une part la qualité interne, il s'agit de savoir si les données respectent les spécifications attendues. D'autre part la qualité externe, qui fait référence à la compatibilité entre les données et les applications que le commanditaire souhaite réaliser à partir de celles-ci. Ces concepts sont décrits dans une thèse (Devillers, 2004).

Réalité Augmentée : superposition d'informations virtuelles à une image réelle acquise par la machine de traitement et opérée en temps réel. Une image de publicité visée avec la caméra d'une tablette et qui s'anime sur l'écran de celle-ci dans l'environnement filmé en est un exemple.

Réalité Virtuelle : simulation d'un environnement réel calculé à chaque instant et qui évolue en fonction des actions de l'utilisateur. Un simulateur de vol est un exemple de ce concept.

Requête : c'est l'interrogation d'une base de données dans le but d'en extraire des informations, que ces dernières soient présentes directement dans la base ou qu'elles soient issues d'un traitement des données de la base.

Résolution d'une photographie : fait référence à la taille au sol d'un pixel de l'image

SIG : c'est un outil informatique qui permet d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, et qui permet également de produire des plans et cartes.

SGBD : c'est un ensemble de programmes qui permet de stocker et de partager des informations dans une base de données pour de multiples utilisateurs qui peuvent s'y connecter simultanément, tout en garantissant la qualité, la pérennité et la confidentialité des informations.

Table des matières

Remerciements 2
Liste des abréviations 3
Glossaire 4
Table des matières 5
Introduction 7
PARTIE 1 LA DEMOCRATISATION DE LA 3D AU SERVICE DES COLLECTIVITES TERRITORIALES 9
I.1 LE SERVICE SIG METZ METROPOLE 9
I.1.1 La Communauté d'Agglomération Metz Métropole 9
I.1.1.1 Chiffres clés 9
I.1.1.2 Ses compétences 9
I.1.1.3 Organigramme 9
I.1.2 Le service 10
I.2 ETAT DE L'ART DES TECHNIQUES ET OUTILS ACTUELS EMPLOYES POUR LA CONCEPTION ET L'EXPLOITATION D'UN REFERENTIEL 3D 10
I.2.1 Méthodes d'acquisition 10
I.2.2 Formats utilisés pour la représentation et l'abstraction de données 3D 11
I.2.3 Logiciels d'analyses, traitements, conceptions et visualisations 3D 12
I.3 LA 3D AU SEIN DES COLLECTIVITES TERRITORIALES 14
I.3.1 Ce qui est déjà en place à Metz Métropole 14
I.3.1.1 Les données 3D 14
I.3.1.2 Les produits 3D de Metz Métropole 15
I.3.2 Qu'en est-il dans d'autres collectivités ? 15
PARTIE 2 LA 3D : QUALITE DES DONNEES ET OUTILS DE TRAITEMENT, LA SITUATION DE METZ METROPOLE 16
II.1 LA FIABILITE DES DONNEES 16
II.1.1 Des hétérogénéités dans les données 16
II.1.2 Qualité des données fournies par VirtuelCity 17
II.1.3 Qualité des autres données 21
II.1.3.1 La BDTOPO 21
II.1.3.2 Le LIDAR 24
II.1.3.3 Les Modèles Numériques de Terrain 24
II.2 LES OUTILS : UN CIBLAGE POUR UNE MEILLEURE GESTION 25
II.2.1 Complémentarités 25
II.2.2 Recouvrement des fonctionnalités 25
PARTIE 3 CONCEPTION ET ORGANISATION DE CHAINES DE TRAITEMENT POUR LES OPERATIONS COURANTES PORTANT SUR LES DONNEES 3D 27
III.1 PRESENTER LES DIVERSES VARIANTES D'UN PROJET POUR L'AIDE A LA DECISION ET LA COMMUNICATION 27
III.1.1 La réalité augmentée pour dynamiser les échanges 27
III.1.1.1 Pourquoi la réalité augmentée 27
III.1.1.1 Présentation d'une solution fournie par un prestataire extérieur 27
III.1.1.2 Réalisation d'une application de réalité augmentée sur Android 28
III.1.2 La solution de la création vidéo 29
III.1.2.1 Les besoins du service 29
III.1.2.2 Les solutions envisagées 30
III.1.2.3 Conception avec le choix retenu 30
III.1.3 Le PDF 3D 31

III.1.4 L'application de réalité virtuelle 32
III.1.5 La suite logiciel Terra 32
III.2 PRECONISATIONS POUR UN PROJET COLLABORATIF 33
III.2.1.1 Format des données 3D pour les échanges 33
III.2.1.2 Méthodologie à mettre en œuvre dans le service pour l'échange des données 34
III.2.1.3 Les métadonnées 34
III.3 MISE A JOUR DE LA MAQUETTE 35
PARTIE 4 EXEMPLE DE PRODUIT CONÇU A PARTIR DE DONNEES 3D : UN MODELE DENSIFIE DE HAUTEURS DES BATIMENTS 37
IV.1 METHODOLOGIE DE CONSTRUCTION 37
IV.1.1 Utilisation des données de VirtuelCity 37
IV.1.2 Exploitation de modèles numérique de terrain 38
IV.1.3 Premier calcul des hauteurs 39
IV.1.4 Densification avec la BDTOPO 39
IV.1.5 Seconde détermination des hauteurs 40
IV.2 PRECISIONS OBTENUES SUR LA HAUTEUR EN FONCTION DES ZONES CONSIDEREES 40
IV.3 POTENTIALITES DES DONNEES LIDAR POUR AMELIORER LES PRECISIONS DE HAUTEURS? 41
IV.3.1 Classification et exploitation du LIDAR 41
IV.3.2 Comparaisons des résultats 43
PARTIE 5 DE REELLES PERSPECTIVES DE VALORISATION DE LA 3D 48
V.1 LES ATTENTES DE METZ METROPOLE 48
V.2 L'APPROCHE DU CITOYEN 49
V.3 RISQUES D'UNE MAQUETTE NON A JOUR 50
V.4 3D : UN REFERENTIEL COMME LES AUTRES 51
V.5 APPROPRIATION PAR LES SERVICES DE METZ METROPOLE 53
V.5.1 Les covisibilités dans le cadre des OAP du PLU d'une commune 53
V.5.2 Autres conceptions à envisager et basées sur les données 3D 54
Conclusion 55
Bibliographie 57
Poster de présentation 59
Liste des illustrations 60
Liste des schémas 61
Liste des graphiques 61
Liste des tableaux 61
Table des annexes 62

Introduction

Metz Métropole est une collectivité territoriale qui se veut innovante parmi les grandes communautés actrices du développement technologique et économique de notre pays. C'est dans ce cadre que son service SIG s'est pleinement engagé vers les données en trois dimensions depuis maintenant deux ans. Il a élaboré un marché public lui permettant de disposer d'information 3D provenant de procédés à la pointe en matière d'acquisition de bâtiments à l'échelle d'une ville. Ainsi la communauté d'agglomération de Metz Métropole est propriétaire d'un référentiel de données 3D de taille importante, d'autant plus que d'autres ressources tridimensionnelles sont à sa disposition.

Les bénéfices que peuvent apporter cette appropriation, l'investissement engendré et la volonté de garantir la pérennité de ces informations engagent la collectivité à les exploiter. C'est en ce sens, qu'elle a d'ores et déjà fait développer une application de visualisation de sa maquette 3D et que ses agents ont commencé à appréhender ces données.

Toutefois, la gestion et l'exploitation d'éléments en trois dimensions nécessitent des outils spécifiques et aucun d'entre eux n'est aujourd'hui entièrement abouti. À l'heure actuelle, les besoins en termes de traitement 3D orientés vers l'information géographique en sont à leurs prémices. Il en va donc de même avec les outils dédiés à ces fonctions. Des difficultés apparaissent ainsi dans toutes les collectivités qui débutent dans ce domaine pour gérer ces données souvent hétérogènes par leurs formes, leurs sources et leurs spécifications.

Depuis quelques années des communautés se mettent en place autour de la 3D. Elles rencontrent à présent un large succès de la part de personnes de compétences variées (du producteur à l'utilisateur des données), preuve de l'intérêt grandissant et de la perception des possibilités offertes émanant d'un public toujours plus nombreux.

Metz Métropole cherche à structurer ses processus liés aux données 3D pour construire un référentiel 3D unique. Ce référentiel doit lui permettre d'obtenir une gestion efficace, de traiter les informations pour produire des applications utiles à toutes les instances de la collectivité et d'effectuer un partage ciblé de tous ces éléments. De nombreuses questions se posent alors. Quels sont les moyens qui peuvent être utilisés pour stocker les données ? Quelles données employer pour quels usages ? Quels accès autoriser pour quels utilisateurs ? Comment hiérarchiser les échanges ? Quels peuvent être les produits basés sur les données 3D ? Comment conserver la maîtrise de ses propres informations ?

Afin de répondre à ces questions et d'apporter des éléments de valorisation du socle 3D de la communauté d'agglomération, ce mémoire est divisé en cinq parties :

- La première, pour définir le cadre dans lequel se déroule l'étude, débutera avec un descriptif de la structure d'accueil. Elle se poursuivra avec une présentation des techniques et outils essentiels à la conception et à l'exploitation d'un référentiel 3D, pour finir avec une description des applications de la 3D existantes à Metz Métropole ainsi que dans d'autres collectivités territoriales.

- La seconde partie s'attachera à l'analyse des données et outils du service SIG afin d'acquérir une connaissance suffisante des composants qui devront être manipulés par la suite. En ce sens, une description de chaque catégorie de donnée 3D sera établie en attirant l'attention sur les disparités présentes. Cette description sera suivie de l'examen des interdépendances et chevauchements entre les outils dont le service dispose.

- La troisième partie sera dédiée à la mise en place d'une chaine de traitement relative aux opérations courantes inhérentes aux données en trois dimensions. Ces opérations fréquentes font référence aux applications de présentations, aux échanges qui devront être structurés entre les divers acteurs qui emploient les informations 3D de Metz Métropole et à la mise à jour qui viendra constamment actualiser le référentiel 3D.

- La quatrième partie se consacrera à un exemple de produit conçu à partir de données 3D. Il présentera une complexité due à l'hétérogénéité des ressources à associer. Ce dernier n'a pas vocation à rentrer dans le processus de traitement de la partie précédente puisqu'il ne sera pas réalisé de manière courante.

- La dernière partie proposera au service SIG un fil conducteur dans l'instauration d'éléments nouveaux à introduire dans son usage des données 3D. Ainsi après avoir évoqué les attentes de la communauté d'agglomération, des réflexions sur les évolutions possibles de la 3D au sein de Metz Métropole seront développées ainsi qu'un avertissement quant au risque d'un référentiel qui deviendrait caduc. Par ailleurs, cette partie sera accompagnée en annexe d'un point sur l'émergence des maquettes numériques du bâtiment auquel les collectivités territoriales sont invitées à prendre part.

Partie 1 La démocratisation de la 3D au service des collectivités territoriales

I.1 Le service SIG Metz Métropole

I.1.1 La Communauté d'Agglomération Metz Métropole

Illustration 1 : Logo Metz Métropole

I.1.1.1 Chiffres clés

Cette communauté d'agglomération, créée le 1er janvier 2002, dispose d'une situation idéale. Sa proximité avec les frontières allemande, belge et luxembourgeoise la place au centre d'un marché européen dynamique. Constituée initialement de 28 communes, elle s'est vite agrandie pour atteindre aujourd'hui le nombre de 44 communes comptabilisant un total de 235000 habitants répartis sur 305 km² (Metz Métropole, 2014). Elle s'enrichit continuellement avec pour exemple l'ouverture du Centre Pompidou-Metz en mai 2010 et l'inauguration de son mode de transport innovant avec deux lignes de bus à haut niveau de service en octobre 2013.

I.1.1.2 Ses compétences

En vertu de l'article L5216-5 du code général des collectivités territoriales, la communauté d'agglomération se substitue aux communes qui la composent pour certaines compétences. Metz Métropole compte 14 compétences qui peuvent être classées en plusieurs catégories :

- **urbanisme et habitat :** composée de l'aménagement de l'espace communautaire et transports, de l'équilibre social de l'habitat, des instructions des autorisations liées au droit des sols et des équipements culturels et sportifs,

- **politico-économique :** comprenant le développement économique et touristique, la politique de la ville et l'étude de tout problème d'intérêt communautaire,

- **réseaux :** incluant les voiries et parcs de stationnement d'intérêt communautaire, l'assainissement et l'entretien des réseaux d'évacuation des eaux pluviales,

- **spécialisation diverses :** constituée de l'archéologie préventive, de l'élimination et valorisation des déchets, du service de lutte contre l'incendie et de la fourrière animale.

I.1.1.3 Organigramme

L'organisation de Metz Métropole se constitue en directions, pôles, services et cellules. Son président est Jen-Luc BOHL, il a succédé à Jean-Marie Rausch en 2008 et a été réélu cette année.

La direction générale des services est divisée en quatre directions distinctes possédant chacune plusieurs pôles ou directions. Le service SIG se situe dans la direction des ressources et des moyens et plus particulièrement dans la direction commune des systèmes d'information. C'est un service central dans les systèmes d'information. En effet il fournit de multiples données utiles aux autres services via un extranet dédiés aux agents et communique certaines informations à la population à

travers son site web geo.metzmetrople.fr/. L'architecture mise en place par le service pour le partage et l'utilisation des données est décrite, en même temps que l'organigramme de Metz Métropole, en **annexe n°1**.

I.1.2 Le service

Le service Système d'Information Géographique est dirigé par M. Emmanuel PINA Géomètre Expert inscrit à l'ordre. Il regroupe les domaines de la topographie et du SIG. Composé d'une vingtaine d'agents, il est scindé en quatre cellules présentées par le schéma ci-après. Le service est de plus certifié ISO9001 depuis 2007.

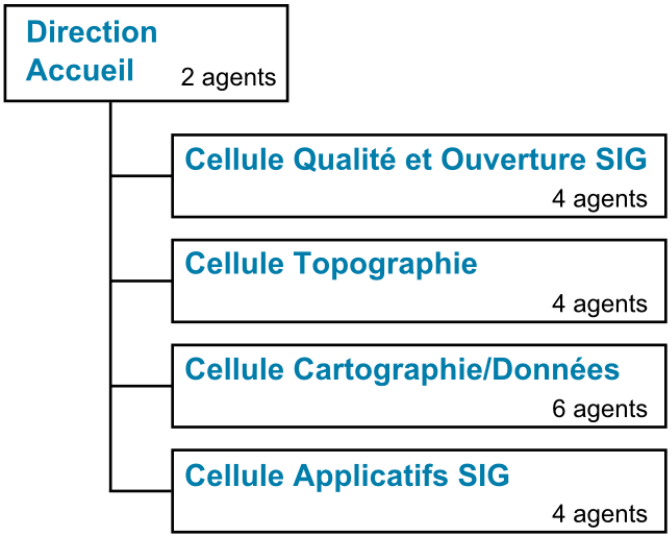


Schéma 1 : Composition du service SIG

I.2 Etat de l'art des techniques et outils actuels employés pour la conception et l'exploitation d'un référentiel 3D

Afin de se rendre compte du potentiel des données 3D, il faut au préalable savoir comment les données sont produites, sous quelles formes celles-ci peuvent se trouver et quels logiciels sont capables de les traiter ou de simplement les visualiser. Cette présentation n'a pas pour objet de dresser une liste exhaustive des multiples possibilités présentes dans ces différents points, mais de proposer les éléments les plus courants de même que ceux utilisés ou présents à Metz Métropole et se retrouvant dans les parties à suivre.

I.2.1 Méthodes d'acquisition

L'obtention des données 3D peut aujourd'hui se faire de différentes manières. Les divergences entre les procédés utilisés se font principalement au niveau de la précision des données, de leurs coûts et de la vitesse d'acquisition. Les avantages sur le coût et la vitesse d'acquisition dépendent fortement de la quantité de données à relever. Cinq possibilités sont présentées ici, ce sont les techniques majoritairement exploitées dans le cas d'une production en 3 dimensions des bâtiments :

- La photogrammétrie aérienne : cette méthode est utilisée pour l'acquisition de données sur une superficie importante. En effet elle nécessite le déploiement de gros moyens et l'attente de conditions de vol adéquates au relevé. Elle ne devient donc rentable qu'à partir d'un certain

volume de données. Ses précisions altimétriques et planimétriques se situent généralement pour ce type de levé à quelques dizaines de centimètres.

- Le LIDAR aérien : son utilisation dans le cas de modélisation en 3D des constructions se porte davantage sur la modélisation du terrain sur lequel elles reposent. Les contraintes de la méthode précédente se trouvent à nouveau dans cette solution. Il se démarque par sa capacité à obtenir rapidement, avec une bonne densité de points (aisément 1 point/m²) et une précision altimétrique de l'ordre d'une dizaine de centimètres, un grand nombre d'informations. De plus, ce système permet, dans une certaine mesure, l'obtention de points au sol sous le feuillage ce que ne permet pas la photogrammétrie.

Illustration 2 : acquisition par LIDAR, source : bluesky-world

- Le LIDAR terrestre : en fort développement au cours des dix dernières années, le scanner laser a connu une diminution considérable de son prix. Il est à présent de plus en plus utilisé pour des relevés de façades ou d'intérieur. Il permet l'obtention d'un nuage de points en 3 dimensions avec une cadence pouvant atteindre le million de points par seconde et une densité de points extrêmement élevée (jusqu'à plus d'un million de points par m²). Mais son emploi n'est pas prévu pour le relevé d'un nombre important de bâtiments. Il est donc à envisager dans des situations ponctuelles pour lesquelles une précision fine est attendue (inférieure au centimètre) avec un nombre de points important et un niveau de détail en conséquence.

- La topographie : entendue comme la technique basée sur des méthodes standard par tachéomètre ou GNSS, elle peut être employée comme l'est le LIDAR terrestre, c'est-à-dire dans des cas ponctuels mais seulement lorsque la densité de points par construction n'a pas besoin d'être élevée.

- La Conception Assistée par Ordinateur (CAO) : lorsque le projet est représenté en 3 dimensions sur un logiciel adéquat, le modèle peut être intégré dans les données. Lors de la phase de conception il sert à la concertation sur les différentes variantes et s'il représente la construction effectivement érigée, il peut être inséré de manière similaire à un bâtiment relevé sur le terrain dès lors que la précision sur son positionnement et ses caractéristiques (notamment son niveau de détail) sont connues.

À partir de ces données, des modèles de constructions et de terrains sont créés. Ils sont alors stockés sous différents formats qu'il faudra exploiter.

I.2.2 Formats utilisés pour la représentation et l'abstraction de données 3D

Aujourd'hui de nombreux formats permettent d'enregistrer les modélisations ou informations en 3 dimensions. Toutefois le problème est de faire coexister ces formats et de pouvoir échanger ces données facilement. En effet, pour le moment chaque éditeur de logiciel utilise son propre format. Certes des normes et standards apparaissent, comme le CityGML qui est un standard de l'OGC permettant de stocker et d'échanger des modèles 3D de villes ou de terrain, mais après différentes tentatives, force est de constater que la compatibilité est parfois hasardeuse avec les logiciels qui exploitent ces données 3D. Une description succincte de différents formats rencontrés au cours de ce TFE est proposée en **annexe n°2** pour donner un aperçu de cette multitude de choix. Ils sont également listés ci-dessous :

Les formats libres :

- CityGML : standard de l'OGC depuis 2008 (Gröger et al., 2012).
- SHP : format shapefile, initialement propriétaire, développé par ESRI.
- DAE : (Collaborative Design Activity) fichier texte, écrit suivant le langage XML.
- KMZ/KML : deux formats libres, en provenance de l'univers « Google Earth ».
- XYZ : fichier texte, composé des coordonnées en trois dimensions des points.
- OBJ : (OBJet) fichier texte, défini des objets en trois dimensions.
- LAS : (LASer) créé pour l'échange de nuages de points en trois dimensions.

Les formats propriétaires :

- 3DS : (3D Studio) utilisé par l'éditeur de logiciel Autodesk.
- 3DM : (Three Dimensional Modeling) natif de « Rhino 3 DM ».
- SKP : (SketchUP) utilisé par le logiciel SketchUp pour l'enregistrement des données 3D.

Ainsi au travers de cet échantillon de formats, les nombreuses possibilités offertes par les différents organismes sont perceptibles. Il reste à présent à savoir comment exploiter ces informations.

I.2.3 Logiciels d'analyses, traitements, conceptions et visualisations 3D

Après avoir observé la pluralité de formats qui permettent d'enregistrer et d'exploiter des données 3D, une présentation rapide de quelques logiciels va être faite. Ces derniers sont présents dans le service pour les premiers ou couramment employés pour résoudre la problématique de la gestion, de l'exploitation et de la visualisation de la 3D pour les deux derniers. En **annexe n°3**, un tableau résume les caractéristiques principales de chaque logiciel.

- Modules RhinoTerrain et RhinoCity de la société française « RhinoTerrain »: ces plugins du logiciel Rhinocéros de la société « Robert McNeel & Associates » sont utilisés pour produire des maquettes 3D. En effet ils permettent à partir de points du sol de reconstruire un MNT, de le texturer puis d'y ajouter, à partir des lignes de faîtage et de toiture, la modélisation des bâtiments en projetant les limites des constructions sur le MNT et en créant une toiture qui s'appuie sur ses lignes caractéristiques fournies. De plus, une fonction offre la possibilité de texturer ces modèles à partir de photographies aériennes géoréférencées. Plusieurs collectivités utilisent cette solution comme le Grand Lyon ou bien encore la ville de Montréal.

- RCP Manager : c'est un logiciel qui permet l'import des données 3D et leurs stockages de façon organisée. Il dispose aussi d'une fonction d'export vers plusieurs formats de fichiers 3D et d'un visualisateur « RCP GraphViewer ». Il facilite également la diffusion des données sur le moteur de rendu haute définition Vstory.

- 3DS MAX : logiciel de modélisation et de rendu 3D. Propriété de la société « Autodesk » cet outil est plus axé vers les concepteurs de jeux ou les infographistes. Ce sont ses capacités de

rendu et son format d'export le 3DS compréhensible par plusieurs logiciels qui exploitent la 3D, qui ont contribué à son emploi dans la modélisation 3D de bâtiments. D'ailleurs de nombreux outils développés pour l'animation ont servi ou servent toujours pour la création de modèle 3D de notre environnement à tous, qu'il soit ou non urbain. C'est effectivement le jeu vidéo qui a permis l'essor de ces technologies de représentation 3D et les a rendues abordables.

- FME : développé par « SAFE Software », ce logiciel est composé d'une boite à outils qui permet le chargement, l'extraction et la transformation de données géographiques qu'elles soient vectorielles ou raster. Il permet des traitements géométriques, attributaires et topologiques. De plus il est en mesure de lire et d'écrire dans plusieurs centaines de formats distincts, ce qui le place en tête des logiciels de transformations de formats. Les informations sur les différentes projections existantes lui procurent aussi la faculté d'exécuter des changements de projections utiles dans le domaine de l'information géographique.

- Vstory : moteur de rendu qui permet la visualisation d'une maquette 3D stockée en ligne ou sur la machine. Mais ce type de logiciel ne permet pas la modification des bâtiments importés.

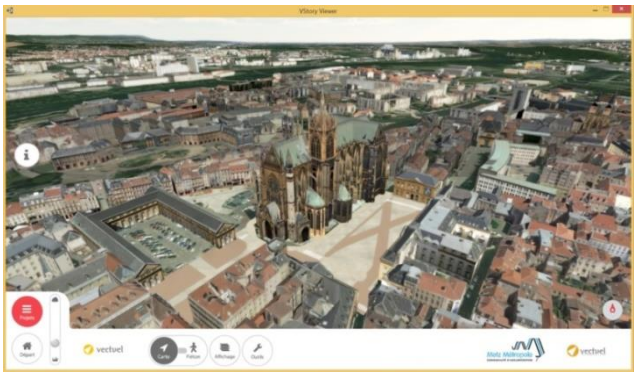


Illustration 3 : le visualisateur de Vstory pour la maquette 3D

- TerraWeb3D : solution web de la société française « IGO » qui permet l'affichage en ligne de maquette 3D sans installation de plugins que ce soit sur ordinateur ou sur support mobile telle une tablette.

- ELYX 3D : logiciel de la société « STAR-APIC » intégrée dans le Groupe 1Spatial, il se veut être « un véritable système d'information géographique 3D ». Il se singularise par l'exploitation directe de base de données 2D ou 3D, par la préservation du concept d'objet lors de la visualisation et donc la possibilité de modifier ces différents objets (Poplavsky et al., 2012). Plus de détails seront fournis partie V.4.

Ces logiciels qui ont des orientations différentes doivent être à même d'importer ou d'exporter des données en 3 dimensions à partir de ou vers d'autres logiciels 3D. En effet un seul logiciel ne permet pas de réaliser toutes les opérations possibles sur ces données. Ils doivent donc pouvoir échanger entre eux des données sans les altérer, ce qui demande une connaissance plus approfondie de certains d'entre eux.

Pour conclure, on comptabilise à l'heure actuelle quelques méthodes de relevé d'information 3D, mais à contrario de nombreuses solutions existent pour stocker et traiter ces données. Ces solutions sont en constante évolution et s'adaptent aux nouveaux besoins des utilisateurs. Le problème repose donc en la pluralité des logiciels nécessaires et des formats à maîtriser ainsi qu'en la compatibilité entre ceux-ci. C'est pourquoi des normes sont apparues pour tenter de trouver des moyens d'échanges des données 3D communs à tous et par conséquent plus cohérents, mais il reste encore du chemin à parcourir pour obtenir un fonctionnement robuste.

I.3 La 3D au sein des collectivités territoriales

La 3D s'est très fortement développée ces dernières années et notamment dans les collectivités territoriales. En effet, elles ont pour les plus importantes d'entre elles, la masse financière nécessaire pour la commande de données 3D spécifiques à des zones relativement étendues. C'est donc tout naturellement dans ces collectivités que la 3D a commencé à être exploitée. Après le plan qui a d'abord permis de partager des informations entre les acteurs de l'aménagement, mais qui nécessitait au préalable une connaissance technique pour l'appréhender, est apparu l'orthophotoplan, facilitant les échanges et la vision en deux dimensions. C'est à présent la troisième dimension qui facilite encore plus l'appréhension de l'environnement avec l'ajout des volumes. De plus, la 3D permet de nouvelles applications comme la modélisation de certains risques avec une représentation accessible à tous. Cette section montre les données et outils qu'elles ont déjà pu acquérir et produire avec tout d'abord la situation de Metz Métropole, mais aussi le cas du Grand Lyon collectivité à l'avant-garde en matière de 3D et enfin des exemples qui ont pu être mis en place dans d'autres collectivités.

I.3.1 Ce qui est déjà en place à Metz Métropole

Metz Métropole s'est engagée pleinement dans la voie de la 3D à partir de 2012 avec un appel d'offre pour un marché de modélisation 3D de 89km² recouvrant la zone centrale de la communauté d'agglomération. Cette collectivité est donc d'ores et déjà en possession de données 3D, en a commencé l'exploitation et souhaite élargir son champ d'utilisation. La connaissance de ces données et des outils produits est un préalable à toute recherche d'utilisation nouvelle, objet de ce travail de fin d'études.

I.3.1.1 Les données 3D

Le début des données en 3 dimensions s'est fait avec l'acquisition de modèle numérique de terrain créé par photogrammétrie en 1998 puis par LIDAR à partir de 2005 par le Conseil Général. Actuellement le service utilise deux modèles différents (l'un au pas de 1m, l'autre au pas de 2m) qui seront détaillés dans la partie II.1.2.3. Ces modèles de terrain sont le support à de nombreux travaux 3D. En effet, ils sont indispensables pour la réalisation d'une maquette 3D et forment un socle pour toutes les autres données.

Le service détient la BDTOPO sur l'emprise de Metz Métropole. Celle-ci permet de réaliser de la 3D à partir d'une emprise au sol et des informations d'altitude qu'elle fournit. Néanmoins elle ne constitue pas une source d'informations en 3 dimensions à une échelle suffisamment grande pour qui souhaite une représentation réaliste à l'échelle du bâtiment. En effet, ces données ne possèdent qu'un seul couple d'altitude (altitude maximale/altitude minimale) pour tout un ensemble de bâtiments. Toutefois elle s'avère être une bonne base pour amorcer le développement de la 3D, compléter des données plus précises sur des zones qui sont moins importantes ou produire des éléments ne nécessitant pas une précision plus fine.

Des données LIDAR non classifiées provenant du Conseil Général sont aussi disponibles sur la communauté d'agglomération. Les points contenus dans le fichier n'étant pas classifiés, ils ne sont liés à aucun thème particulier de point au sol comme la forêt, l'eau ou les bâtiments par exemple, seules les 3 coordonnées des points sont connues dans la projection RGF93-lambert93.

Enfin le service a fait l'acquisition de données 3D l'an passé avec le marché de modélisation remporté par la société VirtuelCity. L'acquisition photogrammétrique effectuée, pour un coût approximatif de 1,5 euros par bâtiment (LOD2), a permis d'obtenir sur la zone de 89km² en question, la restitution des lignes de faîtage et les polygones représentant les bordures de toitures avec une précision planimétrique et altimétrique à moins de 30 cm. Les spécifications étaient de modéliser : toutes les constructions supérieures à 9m² et formant une émergence de plus de 50cm,

tout décrochement d'au moins 50cm de haut entre deux toitures de bâtiments accolés, ainsi que des bâtiments spécifiques en LOD3. De plus, cette modélisation comporte, selon les cas, la texturation des façades, soit avec des orthophotographies aériennes, soit par des prises de vue terrestres (forcément pour les bâtiments en LOD3). Une carte représentant la répartition de toutes ces données se situe en **annexe n°4**.

I.3.1.2 Les produits 3D de Metz Métropole

Le service a déjà traité des données afin de produire des éléments exploitables par les autres services ou par les citoyens :

- À partir du MNT et d'orthophotographies, les agents du service SIG ont construit des modèles numériques de terrain texturés.
- Ils disposent d'une maquette 3D fournie par VirtuelCity et d'une maquette qu'ils ont eux-mêmes recréée à partir des lignes de faîtage et des polygones de bordure de toiture. De plus ils ont augmenté le nombre de bâtiments représentés en utilisant la BDTOPO pour modéliser les constructions en LOD1 hors de la zone déjà réalisée par VirtuelCity.
- Sur le site http://geo.metzmetropole.fr/ créé et géré par le service, tout utilisateur à la possibilité de visualiser des dalles de la maquette 3D comportant uniquement les bâtiments par l'intermédiaire d'un renvoi vers une page basée sur Google Earth. Ainsi les citoyens ont la possibilité de voir les bâtiments de la maquette puisque outre le fait que ces données sont accessibles, le découpage en dalles permet un chargement rapide et ne nécessite pas l'utilisation de machines spécifiques. Seule une connexion internet suffisamment rapide est nécessaire.

Illustration 4 : export de dalles de la maquette 3D vers Google Earth

I.3.2 Qu'en est-il dans d'autres collectivités ?

Metz Métropole n'est pas la seule collectivité consciente des possibilités et de l'avenir annoncé de la 3D. D'autres ont commencé l'acquisition de données et la réalisation de divers produits. Avant d'envisager les applications qui pourront être mises en place par le service, il est bon d'être avisé de ce qui se fait dans les autres structures de la même forme. En effet, les besoins devraient majoritairement être similaires bien qu'ils restent fonction des compétences de la communauté d'agglomération et des choix politiques de celle-ci. Pour ce faire, **l'annexe n°5** présente les applications de la 3D au sein de la communauté urbaine de Lyon puis les expérimentations d'autres structures que sont la ville de Rennes, la communauté Urbaine de Bordeaux et la Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard.

Les applications de ces collectivités offrent des pistes de réflexion pour le choix des produits à mettre en œuvre à Metz Métropole et prouvent que la donnée 3D permet des exploitations diverses dans des domaines très variés. Pourtant, ce n'est pas aussi simple que cela puisque chaque application nécessite des données 3D spécifiques et les moyens de les manipuler.

Partie 2 La 3D : qualité des données et outils de traitement, la situation de Metz Métropole

II.1 La fiabilité des données

Au préalable de l'utilisation des données pour diverses applications, une connaissance de leurs qualités et de leurs compatibilités est requise. En effet les possibilités d'exploitation de ces informations dépendent fortement de ces deux points. Il n'est, par exemple, pas possible de déterminer de façon fiable, l'accessibilité des véhicules de secours si les bâtiments sont décalés en planimétrie de plusieurs mètres et s'ils ont des formes d'une précision de ce même ordre de grandeur. À chaque application correspond donc une attente différente en matière de données (précision, forme, complétude, ….).

II.1.1 Des hétérogénéités dans les données

- Des formats variés :

- La société VirtuelCity a fourni plusieurs données, d'une part les lignes caractéristiques de la toiture « Roofline » et celles du pourtour des toitures « Roofprint » dans le format Shapefile. Celles-ci permettent au service de reconstruire lui-même les bâtiments. D'autre part les constructions sont modélisées et texturées dans deux formats différents : le CityGML et le 3DS avec un fichier geoxml pour le géoréférencement de ce dernier.

- La BDTOPO est éditée par l'IGN dans différents formats. Celui utilisé par le service est le Shapefile. Sa livraison est constituée en 5 fichiers d'extensions différentes mentionnés dans la partie I.2.2, information plus exhaustive dans le document « descriptif de livraison produits vecteur » téléchargeable sur le site de l'IGN (IGN, 2014).

- Le format Shapefile est aussi employé pour les données sur les constructions avec leurs emprises provenant du cadastre et pour les deux MNT.

- Les points issus du LIDAR sont eux fournis dans un format spécifique à ce mode de levé, c'est-à-dire le format LAS.

Ces différents points font d'ores et déjà ressortir la présence de divers formats employés pour stocker les données 3D, mais l'éventail de ces formats ne se limite pas aux formats de livraison dont dispose le service. En effet, il faut ensuite savoir jongler entre les formats des différents logiciels qui exploitent ces données. De plus, les informations contenues ne sont pas les mêmes d'une source à l'autre, ce qui ne permet pas une utilisation similaire de toutes les données.

- Un contenu d'information distinct dans chaque donnée :

- VirtuelCity propose des informations organisées par bâtiment identifié en fonction de son numéro dans les données du cadastre. Par ailleurs, les données concernent les bâtiments avec un point de vue du dessus et procurent toutes les lignes en 3 dimensions spécifiques à la toiture : les lignes de faîtage et les lignes de bord de toiture. Ces dernières ne sont pas forcément les lignes du toit les plus extérieures, dans les points suivants des contre-exemples seront apportés. Les modélisations 3D sont texturées et sont divisées en éléments de toiture, de façade et de raccordement au sol.

- La BDTOPO dispose d'une emprise qui peut être celle de plusieurs bâtiments adjacents contigus indifférenciés dans les mêmes cas que pour l'assimilation des altitudes de plusieurs édifices en une seule. Elle possède aussi un identifiant par emprise, des attributs pour les précisions planimétriques et altimétriques, d'une hauteur de bâtiment, de la nature du bâti et l'origine de son acquisition et enfin une altitude maximale et minimale au niveau de la gouttière (par conséquent également au bord de la toiture) représentées par le schéma ci-à-coté.

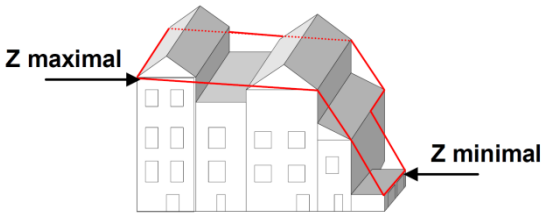


Schéma 2 : Détermination Zmax, Zmin dans la BDTOPO. Source IGN.

- Les données issues du cadastre contiennent un identifiant par bâtiment au sens du découpage cadastral, une date de création et de modification se référant à celui-ci ainsi que le code de la commune et de la parcelle sur lesquelles il se trouve.

- Les modèles numériques de terrain sont constitués de points 3D et peuvent contenir un attribut d'altitude lié à chaque point ;

- Les données LIDAR contiennent des points en 3 dimensions et un attribut relatif à la classification de ces points. Celui disponible au service n'est pas classifié, bien que des données qui lui sont livrées soient tirées de sa classification avec pour exemple le MNT au pas de 5 m.

II.1.2 Qualité des données fournies par VirtuelCity

La partie précédente a indiqué que les différents éléments employés dans l'exploitation de la 3D présentent des formats disparates et que leurs contenus ne sont que rarement semblables. Or ce ne sont pas les seules divergences de ces données. En effet, elles possèdent des niveaux de qualité différents. Les paragraphes suivants exposent ces hétérogénéités.

La majorité des informations 3D utilisées par le service SIG proviennent de la société VirtuelCity. Un Cahier des Clauses Techniques Particulières avait été établi en fonction des besoins de la collectivité au moment du marché en termes de données 3D. Maintenant que les données ont été livrées, il s'agit de savoir si elles respectent les spécifications attendues et les normes établies (concept de qualité interne), mais aussi si elles sont compatibles avec les attentes réelles du service en matière d'application à mettre en œuvre (concept de qualité externe). Ces attentes ont pu évoluer au cours de ces deux années, notamment avec l'essor des technologies basées sur ces données. Qui plus est, le concept de qualité externe est propre à chaque application s'appuyant sur les données. La qualité externe sera donc traitée dans un cas général au vu de toutes les applications possibles ou pour une application particulière qui sera alors mentionnée. Dans ce cas précis la frontière entre les deux peut être floue car les spécifications attendues ont été conçues en fonction des produits souhaités par le service SIG.

<u>Qualité interne :</u>

Elle dépend d'abord de l'adéquation entre le contrat passé et le rendu final. Les points importants établis doivent être respectés (VirtuelCity, 2012) :

- Une résolution native de 10cm a été demandée. Elle a pour objectif d'obtenir une modélisation fiable et une texturation suffisante. Cette résolution a été effectivement obtenue et fournie par le prestataire.

- Restitution de tous les bâtiments d'une superficie d'au moins 30 m², VirtuelCity a fourni environ 47700 bâtiments distincts en comptabilisant le nombre total d'identifiants différents. La requête sur la couche du cadastre pour obtenir les emprises de plus de 30 m² sur la zone, donne 37089 emprises. Ce dernier nombre est sous-estimé car des emprises sont présentes sur plusieurs parcelles et peuvent être divisées en plusieurs parties dans les données cadastrales. Par ailleurs, VirtuelCity a aussi procuré des éléments de superficie inférieure, le résultat livré est donc cohérent. De plus, en visualisant la modélisation sur une orthophotographie, aucun manque n'apparaît.

- Représentation des éléments de superstructure de toiture supérieure à 9 m² et émergent d'au moins 50 cm s'ils font partie d'un ensemble bâti ainsi que des décrochements de toiture d'au moins 50 cm.

- Un identifiant par bâtiment même s'il se décompose en plusieurs éléments et identique à celui présent dans les données du cadastre. Pour la norme CityGML, création d'un attribut différent pour les toits, les façades, les raccords au sol.

- Lignes de faîtage et gouttières horizontales.

- Une précision planimétrique et altimétrique d'au plus 30 cm est demandée.

Le service n'avait pas encore réalisé de contrôle chiffré de la livraison en se référant à des données plus précises. Néanmoins, un contrôle visuel de la superposition du rendu avec les emprises des bâtiments déterminées par le service avait été effectué ainsi que l'observation de quelques écarts planimétrique par rapport à ces mêmes emprises. J'ai donc réalisé une campagne de relevé sur certains points ciblés préalablement afin de couvrir un éventail de bâtiments de types différents (maisons individuelles, immeubles, bâtiments industriels) répartis sur toute la zone acquise. Pour diminuer au maximum le temps d'acquisition des points, le choix s'est porté sur des zones où les services topographiques de la ville de Metz ou de Metz Métropole avaient déjà placé des points de polygonale. Les fiches de ces points sont présentes sur l'extranet et pour certains d'entre eux une altitude est renseignée. Les stations ont été placées sur des points connus en altitude et offrant la possibilité de viser au moins un autre, lui aussi, connu en altitude. Les altitudes ainsi renseignées sont déterminées par nivellement direct entre des repères connus en altitude (Système d'altitude : NGF/IGN69). Elles possèdent donc le même système d'altitude que celui des données 3D délivrées.
La précision fournie étant de 30 cm, il faut effectuer un levé au moins deux fois plus précis. Les points de polygonale, calculés en planimétrie à partir de mesures GNSS en statique rapide et vérifiées par mesures tachéométriques sont connus à mieux que 2 cm. En altimétrie l'usage du nivellement direct permet d'atteindre une précision à mieux que 1 cm (considération faite des incertitudes sur les repères de nivellement).

Par photogrammétrie les emprises de bâtiment sont à considérer comme le contour le plus extérieur des constructions vu de dessus. Pour ce levé, l'acquisition s'est donc faite sur les points les plus extérieurs possibles, voir l'illustration ci-dessous. De plus, les points ont été sélectionnés afin que les visées soient le plus perpendiculaire possible à la surface levée.

Illustration 5 : Exemple de l'emplacement d'un point levé pour le contrôle des données de VirtuelCity

Deux comparaisons ont été effectuées d'une part celle entre les données de VirtuelCity et du relevé topographique et, d'autre part, celle entre les données de VirtuelCity et celles du cabinet GUELLE & FUCHS également acquises par photogrammétrie aérienne. Ces dernières sont annoncées avec une précision « de l'ordre de 5cm en XY et 6cm en Z » d'après leur propre mémoire technique (GUELLE & FUCHS, 2009). Les comparaisons relatives entre deux jeux de données A et B sont entendues comme la différence A-B, les comparaisons en absolu se réfèrent quant à elles à la formule $|A - B|$.

Résultat de la comparaison entre les points de VirtuelCity et ceux relevés :

	X	Y	Z
Moyenne (cm)	-1,6	-1,0	25,7
Ecart-type (cm)	6,8	8,3	14,7

Tableau 1 : Résultat de la comparaison entre les données de VirtuelCity et celles du relevé en relatif : coordonnées de VirtuelCity – coordonnées relevées

	X	Y	Z	XY
Moyenne (cm)	4,6	6,4	27,6	8,5
Ecart-type (cm)	5,2	5,3	10,6	6,2
Maxi (cm)	25,5	27,5	51,8	28,0

Tableau 2 : Résultat de la comparaison entre les données de VirtuelCity et celles du relevé en absolu

La comparaison sur les coordonnées planes fait ressortir des écarts de faible amplitude entre les données. Comme les points ne sont pas acquis par le même procédé et donc pas exactement au même endroit, un écart est forcément présent. Par ailleurs la résolution de la photogrammétrie déterminée à 10 cm limite également la précision. Pourtant en planimétrie la moyenne, même des écarts en absolu, est inférieure à 7 cm avec un écart-type autour de 5 cm. Le résultat est donc très bon. D'ailleurs, aucun écart en absolu ne dépasse les 30 cm. En revanche, en altitude les différences sont plus prononcées. En effet, la moyenne des écarts absolus est de 27,6 cm avec un écart-type de 10,6. De plus l'écart maximal est de 51,8 cm et 10 écarts dépassent les 30 cm. On note aussi que tous les écarts, à l'exception d'un seul, sont positifs. Les altitudes déterminées par VirtuelCity sont donc plus importantes que celles acquises par méthode topographique. Une légère différence (environ 5 cm) peut s'expliquer par l'acquisition qui vue du sol ne s'est pas faite exactement au niveau le plus haut des points caractéristiques. Une autre peut se justifier par la résolution de 10 cm qui fait que le pixel peut recouvrir une zone présentant une différence d'altitude de quelques centimètres (voir schéma ci-dessous)

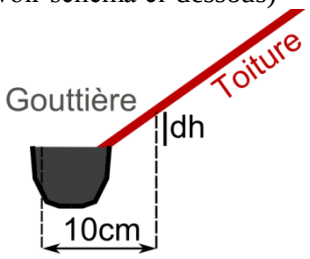


Schéma 3 : différence d'altitude dh recouverte par un pixel de 10cm

Quant à l'article 5 de l'arrêté sur les classes de précision du 16 septembre 2003 (De Robien, 2003), il impose de respecter trois conditions concernant les écarts entre les données fournies et celles de référence.

- 1° : l'écart moyen de position (Emoy pos) doit être inférieur à $[xx] * \left(1 + \frac{1}{2*C^2}\right)$ où $[xx]$ est la précision attendue sur les mesures (30 cm ici) et C le coefficient de sécurité (au minimum égal à 2). La précision sur les données de référence doit au maximum être égal à $[xx]/C$ soit dans ce cas 15

cm en prenant C=2. Le levé topographique fournit aisément cette précision même en considérant une erreur sur l'altitude du point de 5 cm lors du relevé. La limite fixée est donc de 33,75 cm.

Vérification : En planimétrie l'Emoy pos est de 8,5 cm, bien inférieur à 33,75 cm.
En altimétrie l'Emoy pos est de 27,6 cm, également inférieur à 33,75 cm.
Cette première condition est validée.

- 2° : le nombre de points pouvant dépasser le seuil T= $k * [xx] * \left(1 + \frac{1}{2*C^2}\right)$ peut au maximum être égal à l'entier immédiatement supérieur à $0{,}01 * N + 0{,}232 * \sqrt{N}$. Avec N le nombre de points de comparaison (de 28 pour nous) et k fonction du nombre de coordonnées considérées (n). Pour n=1, k=3,23 ; pour n=2, k=2,42 ; n=3, k=2,11.

Vérification : Le nombre de points toléré supérieur à T est donc de 2 dans ce cas.
En planimétrie T= 2,42*33,75= 81,7 cm. Le maximum d'écart relevé étant de 28,0 cm, aucun point n'a d'écart supérieur à cette valeur, la condition est vérifiée.
En altimétrie T= 3,23/33,75= 109,0 cm. Le maximum d'écart relevé étant de 51,8 cm, aucun point n'a d'écart supérieur à cette valeur, la condition est vérifiée.

- 3° : aucun couple de points ne doit avoir un écart supérieur à T'= $1{,}5 * k * [xx] * \left(1 + \frac{1}{2*C^2}\right)$ soit 1,5*T. Comme aucun écart n'était supérieur à T, cette condition est automatiquement validée. Ainsi d'après l'article 5 de l'arrêté, les données fournies respectent la précision annoncée de 30 cm en planimétrie et en altimétrie.

<u>Résultat de la comparaison entre les points de VirtuelCity et ceux du cabinet GUELLE & FUCHS :</u>

	X	Y	Z
Moyenne (cm)	-1,1	-8,6	10,3
Ecart-type (cm)	7,9	15,7	18,7
Maxi (cm)	10,7	17,0	45,9

Tableau 3 : Résultat de la comparaison entre les données de VirtuelCity et celles de GUELLE & FUCHS en relatif : coordonnées de VirtuelCity – coordonnées GUELLE & FUCHS

	X	Y	Z	XY
Moyenne (cm)	6,5	13,6	17,1	16,3
Ecart-type (cm)	4,5	11,4	12,5	10,4
Maxi (cm)	16,0	43,7	45,9	43,7

Tableau 4 : Résultat de la comparaison entre les données de VirtuelCity et celles de GUELLE & FUCHS en absolu

Deux éléments sont à noter : d'une part la différence en planimétrie est augmentée. En effet, la moyenne des écarts augmente de 7,8 cm avec un écart-type plus grand de 4,2 cm. C'est notamment la composante en Y qui présente le plus de disparités. Cependant, sans réitérer l'ensemble des calculs de l'arrêté sur les classes de précision, la précision des points de contrôle se trouvant à nouveaux au moins deux fois plus élevée que celle que l'on cherche à vérifier, les seuils précédents sont identiques et sont tous respectés.
D'autre part, les écarts en altimétrie diminuent avec une moyenne en baisse de 10,5 cm et un écart-type légèrement plus élevé. Cette amélioration doit être due à la méthode de relevé qui est identique. Mais il reste des écarts assez importants et une tendance à obtenir des altitudes plus élevées pour VirtuelCity. Pourtant cela ne va pas de pair avec un rapprochement des valeurs du relevé topographique et de celui du cabinet de géomètre car l'écart moyen est de 27 cm en absolu.

Pour conclure, la précision annoncée est respectée au vu de l'article 5 de l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précisions des objets géographiques que ce soit par rapport au relevé effectué sur le terrain ou à l'acquisition du cabinet GUELLE & FUCHS.

- Des texturations spécifiques pour chaque bâtiment.

Dans la solution choisie deux types de texturation cohabitent. Soit les bâtiments ont été texturés avec la prise du vue aérienne, soit pour 15 km de voirie (de chaque côté de celle-ci) c'est une prise de vue spécifique haute définition au sol qui a été exploitée. Pour la seconde méthode, VirtuelCity a réalisé un relevé par appareil photo embarqué sur un véhicule et positionné en haut d'un mât. Cela a permis d'obtenir des textures visiblement plus agréables, notamment de près. La principale imperfection provient de la végétation qui en raison des modes d'acquisition est projetée sur les façades.

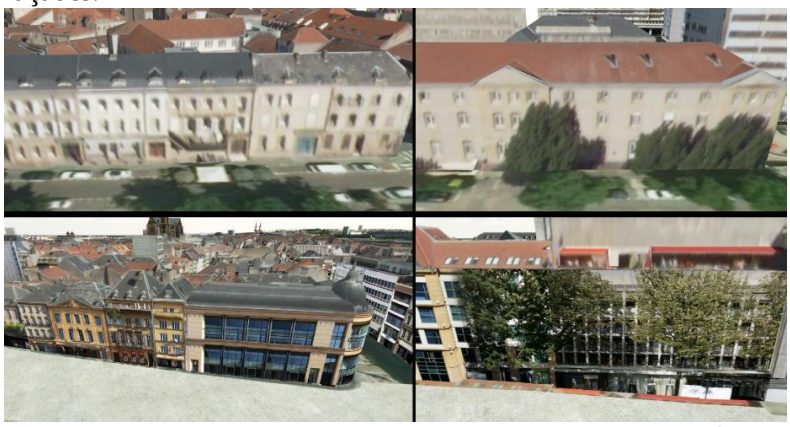


Illustration 6 : Texturation par PVA pour les images du dessus et par système terrestre en dessous

Qualité externe :

Comme mentionné précédemment, les besoins du service ayant été intégrés dans les spécifications, les qualités internes et externes se recoupent. Cependant un point reste d'une qualité plutôt relative. En effet le service a dû privilégier une zone du territoire pour faire réaliser la modélisation 3D. Il a donc naturellement choisi les périmètres de plus grand intérêt. Toutefois, s'il avait pu bénéficier d'un financement supplémentaire, la modélisation aurait pu se faire à l'échelle de la communauté d'agglomération entière. Le non-recouvrement de toute la superficie de Metz Métropole est par conséquent le principal défaut de ces données.

II.1.3 Qualité des autres données

Les informations de VirtuelCity étant exploitées avec d'autres éléments, il faut également connaître leurs qualités. Seront présentées dans cette partie : de façon détaillée les données de la BDTOPO, puis de manière succincte les données LIDAR et des deux MNT.

II.1.3.1 La BDTOPO

Cette donnée est conçue par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et regroupe plusieurs thèmes, celui qui est considéré dans ce document est le thème « bâtiment ». L'utilisateur, à savoir Metz Métropole, n'a pas pu faire de spécifications particulières quant à la précision ou à la forme de la donnée. En effet, c'est l'IGN qui détermine les éléments à prendre en compte dans la BDTOPO. Dans ce cas, la différence entre qualité interne et externe de la donnée existe pleinement.

Qualité interne :

- Sur la partie de donnée utilisée, c'est-à-dire dans la zone recouverte par l'agglomération, 89% des précisions altimétriques sont de 1 à 2,5 m et 11% sont inférieures à 1 m selon les métadonnées de l'IGN couplées à une requête sur le champ de la précision. De plus, les

spécifications de la BDTOPO font que deux bâtiments contigus de même fonction sont considérés comme un seul si la différence de hauteur entre les deux est inférieure à 10 m ou si l'un au moins a une emprise inférieure à 400m². Ainsi, en plus de l'imprécision, une différence de hauteur de 10 m peut se retrouver dans l'attribut d'altitude.
Quant aux précisions planimétriques, les mêmes pourcentages se retrouvent avec 89% de 1,5 à 2,5 m et 11% de 0,5 à 1,5 m.

- Concernant la provenance des informations sur les bâtiments, il y a 5 valeurs possibles de l'attribut en question : BDTopo, Cadastre, Terrain, Autre, NR(Non Renseigné).

- Un attribut contenant la hauteur de bâti est présent et correspond à la différence entre l'altitude maximale au niveau de la gouttière et celle d'un point du sol au pied du bâtiment arrondie au mètre.

- L'exigence en matière d'exhaustivité des données est fixée à 95%, avec pour critère la considération de tous les bâtiments de plus de 50 m² et ceux entre 20 et 50 m² dans le cas où ceux-ci se trouvent être isolés.

<u>Qualité externe :</u>

- Pour la texturation d'une maquette 3D :

  Cette texturation nécessite des positionnements absolus de bonne qualité. En effet, si le bâtiment est décalé en planimétrie, sa texturation sera décalée avec des textures qui correspondront à son environnement proche. Il en est de même si l'altitude est faussée. Trop haute, les façades seront texturées avec de la toiture voire avec des éléments extérieurs au bâti. Un bâtiment trop bas engendrera quant à lui une coupure dans la texture.

Illustration 7 : Bâtiment trop haut : texturation représentative de la toiture sur la façade. A gauche face Est, à droite face Ouest

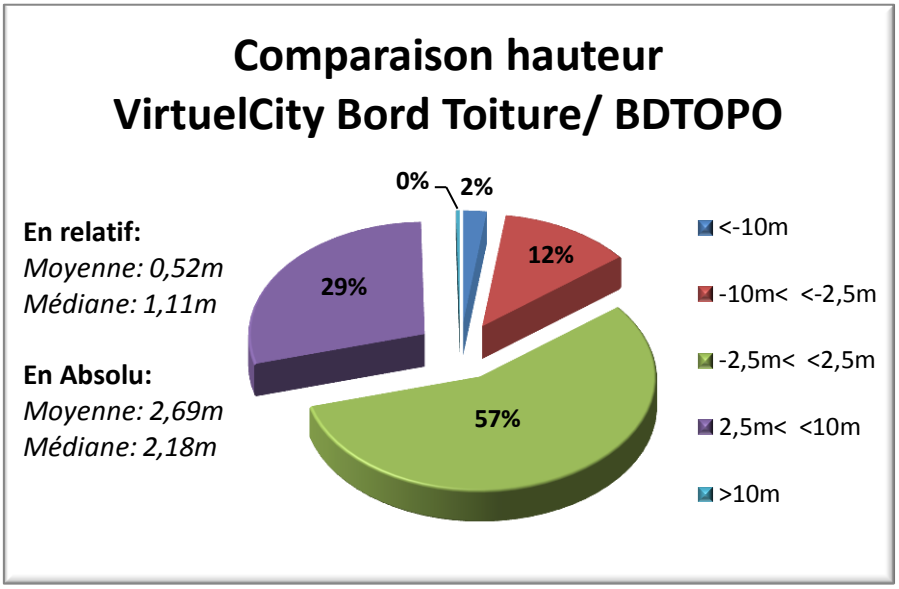
Illustration 8 : Bâtiment trop bas : texture coupée à travers les fenêtres du dernier étage

Les précisions planimétriques et altimétriques de la BDTOPO ne permettent donc pas de texturer convenablement les bâtiments. Son utilisation pour de la modélisation 3D ne convient donc au service que pour les zones n'ayant pas fait partie du marché de modélisation.

- Pour être complémentaire aux données de VirtuelCity dans la détermination de la hauteur des bâtiments :

  Comme les données de VirtuelCity sont théoriquement plus précises que ce soit en planimétrie ou en altimétrie, une comparaison peut être faite entre les altitudes des deux jeux de données pour observer les imprécisions de la BDTOPO.
  Afin de comparer les deux jeux de données, pour chaque bâtiment au sens du découpage du cadastre, un attribut d'altitude maximale provenant de la BDTOPO a été affecté ainsi qu'un attribut de cette même altitude mais cette fois émanant du relevé de VirtuelCity. Pour la BDTOPO, l'affectation d'une altitude maximale a été faite en considérant que l'attribut d'altitude provenait de l'emprise de la BDTOPO qui a une surface d'intersection maximale avec l'emprise du bâtiment provenant du cadastre. Pour les données de VirtuelCity, une jointure a été réalisée sur l'attribut de l'identifiant des bâtiments.

  Le graphique ci-dessous a été établi à partir de la comparaison entre les hauteurs de bâtiments. La différence est faite en soustrayant la hauteur de la BDTOPO à celle des bords de toiture de VirtuelCity afin que les emplacements de la comparaison correspondent le plus possible. L'obtention de l'altitude à partir des données de VirtuelCity sera présentée dans la partie IV.



Graphique 1 : Résultat de la comparaison entre les hauteurs déterminées avec les données de ViruelCity et de la BDTOPO

La précision de la majorité des données de la BDTOPO est de 2,5 m. Or la plus grande partie des différences (57%) se trouvent dans cet écart entre -2,5 et 2,5 m, ce point est donc cohérent. Cependant, on retrouve 14% des données inférieures à -2,5m d'écart et 29% supérieur à 2,5 m. Lorsque l'écart est négatif en dehors de la plage $[2{,}5\text{m}; -2{,}5\text{m}]$ cela peut s'expliquer par la confusion de deux bâtiments contigus dans le cas où la différence de hauteur entre les deux est inférieure à 10 m. Dans le cas inverse où la valeur est fortement positive (au-dessus de la plage précédente) plusieurs explications surviennent, notamment : la présence de chien-assis ou lucarne rampante sur la toiture qui sont considérés comme ligne de bord de toiture dans les données de VirtuelCity (voir exemple ci-dessous) ou encore un niveau de toiture différent sur un même bâtiment.

Illustration 9 : Exemple de point considéré comme altitude maximale de la ligne de toiture (cas de la lucarne rampante), source de l'image : streetview

Par ailleurs, en relatif, la moyenne se situe dans la précision des données de la BDTOPO à 0,52 m tout comme la médiane, mais avec une valeur deux fois plus élevée de 1,11m. Cela signifie qu'une majorité des attributs de hauteur sont plus élevés dans les données de VirtuelCity que dans celles de la BDTOPO. Toutefois il existe des valeurs beaucoup plus faibles que 1,11 m. C'est principalement le cas de la confusion de deux bâtiments en un seul. En absolu, on s'aperçoit que la moyenne est assez proche de la médiane, il y a donc peu de cas où la différence est très élevée.

En conclusion trois points ressortent de cette analyse. D'une part, la majorité des différences restent dans la classe de précision des données de la BDTOPO. D'autre part, le fait de rassembler des bâtiments adjacents peut s'avérer réellement pénalisant avec des écarts atteignant 10 m. Enfin, en considérant des éléments de toiture en tant que bord de bâtiment, l'altitude maximale de la bordure de toiture est faussée dans les données de VirtuelCity si aucune opération préalable ne vient à exécuter une distinction pour résoudre ce problème.

Au vu des différentes remarques soulevées, la BDTOPO peut être complémentaire aux données de VirtuelCity mais avec une précision très nettement inférieure et des inégalités quant aux éléments considérés.

II.1.3.2 Le LIDAR

Le service dispose de données LIDAR non classifiées au format LAS. Le Conseil Général de Moselle en avait fait la demande. La précision annoncée est inférieure à 10 cm que ce soit en planimétrie ou en altimétrie. Ce sont donc des données très précises mais également volumineuses puisqu'il y a environ 1,2 points par m².

Les principales contraintes pour son emploi sont, par conséquent, la nécessité de classifier les données pour pouvoir les exploiter pleinement et le temps de traitement qui s'avère être très long en raison de la quantité de données à traiter.

II.1.3.3 Les Modèles Numériques de Terrain

Le service possède deux modèles numériques de terrain différents, sous forme de fichier de points, sur lesquels ses produits reposent actuellement. Ces modèles ont été acquis par des procédés distincts et ne présentent pas les mêmes caractéristiques :

Un premier MNT au pas de 2 m créé par l'intermédiaire d'une acquisition LIDAR en 2005. Il possède une précision en altimétrie de l'ordre de 50 cm et recouvre l'ensemble de la communauté d'agglomération. Son utilisation est de moins en moins fréquente notamment avec l'acquisition des modélisations 3D des bâtiments avec une plus grande précision, fixée à 30 cm.

Le deuxième MNT possède un pas de 5 m et provient d'une acquisition LIDAR du Conseil Général de Moselle. Sa précision altimétrique est donnée à mieux que 15 cm et à 20 cm en planimétrie. Il bénéficie donc d'une précision supérieure à celle de la modélisation des bâtiments. C'est pourquoi ce deuxième est utilisé pour constituer le socle de la maquette 3D. Toutefois son pas trop important empêche son utilisation directe. Pour obtenir une bonne représentation des constructions, la société VirtuelCity conseille un pas optimal de 1 m. Elle a alors procédé à un suréchantionnage pour créer un nouveau MNT au pas de 1m à partir de ce MNT, des données LIDAR acquises à raison de 1,2 points/m² pour le concevoir le premier et de lignes de rupture de pente qu'elle a conçu par photogrammétrie. Ce dernier recouvre les 89 km² de la modélisation 3D et sa précision altimétrique finale est inférieure à 30 cm. Elle est donc la même que celle sur les bâtiments.

Finalement ces présentations ont permis d'observer au sein du service SIG la présence de données de précisions inégales avec des contenus en termes d'informations distincts ainsi que des formats à traiter de natures différentes. Ainsi, à chaque application envisagée, une donnée pourra davantage convenir qu'une autre et une attention particulière devra être portée à cet égard. Il reste à présent à analyser les outils d'exploitation dont dispose la communauté d'agglomération.

II.2 Les outils : un ciblage pour une meilleure gestion

Le service, dans un souci d'efficacité, souhaite répertorier les outils utilisés pour le traitement de la 3D, dresser une liste des fonctions utilisées ou à utiliser pour chacun d'eux et observer la complémentarité de ses outils mais aussi les fonctionnalités présentes en doublon afin de voir si tous les logiciels possèdent réellement une utilité qui leur est propre.

II.2.1 Complémentarités

Les outils en possession de Metz Métropole et exploités principalement pour la 3D sont : Rhinocéros avec les plugins Rhinoterrain et Rhinocity, FME, Vstory, PostgreSQL/PostGIS, RCP manager, SketchUp et 3DS Max. Chaque phase du traitement de données 3D nécessite l'utilisation d'outils informatiques. Le schéma de l'**annexe n°6** présente un choix d'outil possible pour chaque étape du traitement sans pour autant signifier que cet outil est le seul à offrir ces fonctionnalités.

Les multiples opérations envisagées dans le schéma à partir des logiciels acquis par le service permettent d'effectuer, en les additionnant, toutes les opérations essentielles à la conception d'une maquette 3D et à des traitements de base sur les données 3D. Toutefois, il se peut que les fonctions d'un logiciel se retrouvent également dans un autre voire dans l'accumulation de plusieurs autres et par conséquent ce logiciel serait inutile et pourrait engendrer des problèmes de compatibilité superflus.

II.2.2 Recouvrement des fonctionnalités

La présence d'un logiciel dans un service entraîne dans un premier temps un coût d'achat puis de maintenance s'il s'avère ne pas être un logiciel libre d'utilisation. De plus, cela nécessite que les agents le prennent en main par l'intermédiaire de formation ou de temps passé à le tester ce qui

représente un second coût financier pour la collectivité. Enfin, le plus souvent, le logiciel fonctionne dans un format qui lui est spécifique entrainant l'obligation de transformer les données lors des échanges, opération fréquemment à l'origine de problèmes de concordances entre les différents formats. Ce paragraphe va donc mettre en lumière les doublons présents dans les outils utilisés par le service afin d'éviter ces inconvénients.

Trois fonctions de base se retrouvent présentes dans plusieurs logiciels :

- La création manuelle de bâtiment peut se faire via SketchUp, 3DS MAX ou Rhinocéros. Elle est vraisemblablement plus aisée à utiliser sur SketchUp qui de plus permet une gestion efficace de l'export en KMZ pour l'intégration sur Google Earth ainsi qu'un géoréférencement facilité par la possibilité de l'effectuer via un positionnement sur une carte google maps avec une précision de quelques mètres.

- Le rendu sous forme d'image avec des effets d'éclairage est possible avec 3DS MAX, SketchUp avec des plugins spécifiques au rendu ou bien avec Rhinocéros et dans ce cas soit directement avec son moteur de rendu soit via des plugins. Cette fonction est donc possible sur les trois logiciels. Les plugins pour Rhinocéros ont un coût considérable ce qui les rend peu attractifs. Pour SketchUp le plugin Maxwell Render est à un coût faible (75euros) et possède des fonctionnalités avancées. Pour 3DS MAX la fonction est incluse dans le logiciel et c'est une de ses spécificités pour laquelle il a été conçu. Rhinocéros possède également un moteur de rendu propre mais ne propose pas de fonction très avancées.

- Les requêtes spatiales et attributaires, quant à elles, peuvent être effectuées soit par FME directement, soit par pgadmin via des requêtes SQL avec PostgreSQL/PostGIS. FME a l'avantage de la lecture d'un grand nombre de formats de fichiers en entrée alors que la deuxième solution est spécifiquement dédiée à cette fonction et est fortement utilisée dans le monde du SIG.

Dans le dernier point les fonctionnalités sont identiques pour certains aspects, mais l'utilisation de FME conserve la spécificité de gérer et modifier un grand nombre de formats et de projections différents. Pgadmin est lui déjà fortement utilisé par tous les membres du service et c'est un logiciel libre alors que FME est payant. Les deux logiciels bénéficient donc d'atouts qui leurs sont propres et le maintien de chacun dans le service est impératif.

Concernant les deux premiers points, on observe que les trois logiciels peuvent se substituer les uns aux autres dans les deux fonctions correspondantes. Toutefois, 3DS MAX conserve la meilleure gestion des fichiers au format 3DS (lecture, écriture, modification) puisque celui-ci lui est lié. Par ailleurs, ce format se trouve être fortement utilisé pour la création de modèle 3D. Préserver la licence sur un seul poste, comme c'est le cas à présent, suffit à couvrir les besoins actuels, son extension à d'autres stations de travail n'est pas à envisager. Rhinocéros est le seul à générer des bâtiments à partir des lignes de toiture. Son maintien est donc impératif. Enfin, SketchUp, en plus d'être facile d'utilisation, est aussi très utilisé dans le monde de la modélisation de bâtiments en trois dimensions. Le conserver est alors important.

Cette partie a mis en évidence les différences dans les données du service et souligne l'attention qu'il est nécessaire de porter sur ces dernières. En effet, il sera essentiel d'informer l'utilisateur sur les produits afin qu'il dispose de toutes les précisions requises pour définir leurs possibles utilisations. De plus, les constats établis précédemment n'ont pas permis de préconiser l'abandon de l'un des outils puisque chacun dispose d'une fonction qui lui est propre.

Connaissant à présent les données du service avec leurs diverses caractéristiques et les outils initialement présents pour les traiter, on peut désormais rechercher de nouvelles applications à développer et formuler des recommandations afin d'exploiter ces données.

Partie 3 Conception et organisation de chaines de traitement pour les opérations courantes portant sur les données 3D

III.1 Présenter les diverses variantes d'un projet pour l'aide à la décision et la communication

Pour les élus, avoir la possibilité de visualiser les projets dans leur environnement est un atout majeur pour décider des implantations les plus adéquates. En effet, la 3D permet d'appréhender les volumes, l'éclairage et l'intégration du projet dans l'environnement existant. Par ailleurs, le service de la communication pourra également, à partir de présentations en 3 dimensions, offrir une lecture plus simple des projets facilitant le dialogue avec la population et par conséquent, impacter le plus grand nombre. La présentation des projets et des différentes variantes envisagées sera ainsi la principale utilisation faite par ces acteurs de la collectivité.

Plusieurs solutions peuvent être employées pour visualiser les multiples aménagements possibles d'une zone. Les cinq propositions formulées sont toutes distinctes par leurs formes et par leurs manipulations. La première présentée est une solution de réalité augmentée alors que les suivantes, classées par ordre de complexité, sont des applications de réalité virtuelle : application de réalité augmentée, vidéo, PDF 3D, application de réalité virtuelle et suite logicielle « Terra ».

III.1.1 La réalité augmentée pour dynamiser les échanges

III.1.1.1 Pourquoi la réalité augmentée

On observe actuellement l'émergence de la réalité augmentée dans de nombreux domaines, que ce soit dans les jeux vidéo, dans des publicités ou bien, et c'est ce point qui nous intéresse plus particulièrement, dans l'aménagement du territoire. Les collectivités territoriales s'intéressent à cet outil notamment pour présenter leurs divers projets d'aménagement et diffuser de l'information au public de manière ludique. Metz Métropole souhaiterait pouvoir concevoir des applications faisant appel à cette technologie en limitant le coût de conception. En effet, la ville de Metz a fait développer une application pour présenter les trois projets retenus en phase de modélisation pour le réaménagement de l'îlot occupé par l'ancien hôpital Bon Secours. Cette application a bénéficié d'un accueil très favorable de la part des différents acteurs publics.

III.1.1.1 Présentation d'une solution fournie par un prestataire extérieur

Comme cela a été mentionné précédemment, la ville de Metz a fait appel à une entreprise pour concevoir une application de réalité augmentée sur support mobile type tablette ou smartphone. C'est la société « Artefacto » qui a obtenu le marché. L'application devait permettre l'aide à la décision afin de définir le projet du nouveau quartier de Bon Secours. L'outil conçu rassemble les trois projets avec la possibilité de les observer de trois façons distinctes :

- en naviguant dans les maquettes numériques.
- en utilisant des images cibles filmées via une caméra et sur laquelle le projet vient se superposer.
- en filmant sur site avec à nouveau une superposition du projet à l'acquisition vidéo réalisée.

Illustration 10 : Application BON SECOURS de la société Artefacto

En plus de ces trois modes de visualisation, le programme permet d'afficher, ou non, la végétation. Il offre par conséquent la possibilité de mieux observer les constructions lors d'une vue de la maquette à hauteur d'homme. Par ailleurs, ce type d'application très complète a un coût supérieur à une dizaine de milliers d'euros. En ce sens, cet outil ne peut pas être acquis pour des projets de plus faible envergure sauf à en diminuer le prix.

Preuve de l'attraction des collectivités territoriales pour cette catégorie d'applicatifs, plusieurs d'entre elles en ont aussi fait développer, à l'instar de la ville de Rennes pour la présentation au public de l'aménagement de son quartier de la ZAC de la Courrouze en 2010.

III.1.1.2 Réalisation d'une application de réalité augmentée sur Android

Afin que Metz Métropole dispose d'un moyen de conception interne d'application de réalité augmentée facilement visualisable, un logiciel d'utilisation aisé et de coût modéré était nécessaire. Après recherche plusieurs solutions sont disponibles :

- Des logiciels ou services en lignes comme « Wikitude Studio » qui permet de créer des applications de réalité augmentée sans compétences en programmation.

- Des kits de développement (Software Development Kit ou SDK) comme « Vuforia » ou « Metaio SDK » qui offrent la possibilité de concevoir une application en la personnalisant à souhait.

Après la satisfaction mentionnée par une personne de passage au service à propos de son utilisation du SDK « Vuforia » et ne pouvant tester une large gamme de produits dans le temps imparti, le choix s'est porté sur cette solution pour réaliser une application. L'installation du kit de développement a posé des problèmes en raison des sécurités d'accès lié au réseau informatique de Metz Métropole. De plus son utilisation requiert une connaissance en programmation assez élevée. C'est alors l'utilisation du plugin « Vuforia » pour le logiciel « Unity » en version gratuite qui fut privilégiée. En effet, cette méthode de conception permet de construire très facilement un programme de base sans menu ni option, puis de développer les options souhaitées en fonction des besoins (Vuforia, 2014). De surcroît, elle ne nécessite pas l'utilisation d'un support mobile sous Android pour être mise en œuvre. Néanmoins pour diffuser l'application au public il sera nécessaire d'acquérir la version « Pro » d'Unity au tarif de 1140 euros, sur devis transmis le 15 mai 2014 et d'obtenir des compétences en infographie, pour le moment indisponibles dans le service.

Pour réaliser son application, de multiples phases sont nécessaires. En premier lieu il faut choisir le support aux modèles 3D présentés qui doit être une image cible de taille ne devant pas dépasser 2.25Mb. Un schéma descriptif des différentes étapes de conception se trouve en **annexe n°7**.

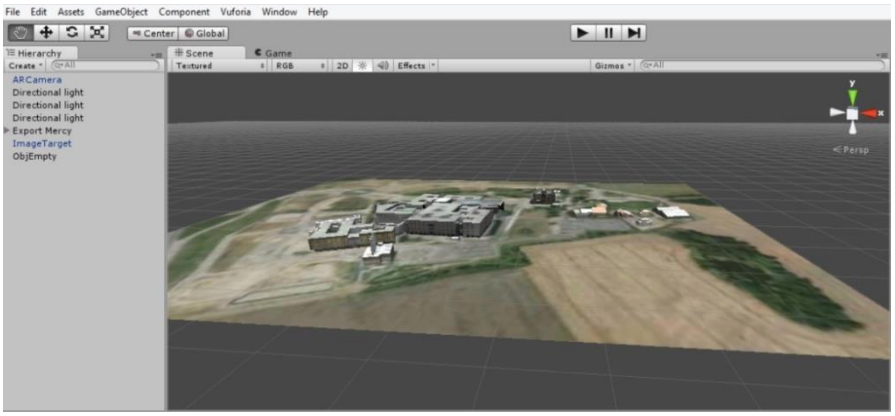


Illustration 11 : Interface d'Unity avec le modèle 3D mis en place sur l'image cible

Pour l'import des bâtiments, après plusieurs tests, il faudra privilégier en sortie du logiciel « RCP Manager » (logiciel de stockage des données de la modélisation 3D de Metz Métropole) un format 3DS avec textures externes ainsi que l'option de mise à zéro de l'altitude de tous les bâtiments afin d'éviter le passage par un recalage manuel de l'altitude des bâtiments sous « Unity ». Enfin, pour que les textures se positionnent automatique sur les modèles 3D, il est impératif d'introduire les images de textures avant l'import des modèles et dans un même dossier que ceux-ci.

Seule la compilation pour former une application exécutable sur Android a été testée. Le logiciel autorise toutefois la compilation pour les plateformes IOS, mais cette solution n'a pas été expérimentée faute de pouvoir compiler avec un pc Windows et en raison de l'obligation de l'adhésion payante à la communauté de développeurs Apple nécessaire pour produire l'application.

Au départ, on obtient une application de réalité augmentée qui fonctionne en visant l'image cible imprimée avec la caméra de l'appareil. L'inconvénient est qu'aucun menu n'est présent de base. Il n'y a donc aucune option. La possibilité de fermer proprement l'application n'est par conséquent pas offerte. Il faut alors forcer son extinction. Ne pouvant être utilisé de cette façon pour des présentations, il était nécessaire de trouver le moyen de développer un menu propre au service, permettant de quitter l'application et d'inclure des informations.

Pour écrire le script « Unity » admet 3 langages : le C#, le Boo et le JavaScript. Le choix s'est porté sur le C# car il semble être le plus utilisé au vu des forums consultés. Pour comprendre comment utiliser ce langage, de nombreux forums proposent des exemples d'applications et le site d'Unity publie des scripts de référence pour les trois langages (Unity, 2014).

Après plusieurs essais, les scripts mis en place et associés à des objets permettent de sortir de l'application ou bien d'afficher des menus pour obtenir des informations ou changer de projet, voir l'illustration ci-dessous. La taille des caractères et la couleur des textes sont paramétrables ainsi que les dimensions des rectangles qui les contiennent. Les scripts exécutés sont présents en **annexe n°8**. Cette application permet finalement de présenter plusieurs projets, mais exige un support mobile compatible et son téléchargement sur ce dernier.

Illustration 12 : Imprimés écran de l'application créée, en fonctionnement sur plateforme Android

III.1.2 La solution de la création vidéo

III.1.2.1 Les besoins du service

Jusqu'alors le service, pour ses présentations, utilisait les vidéos produites et fournies par la société « Vectuel ». Cette approche à un coût et ne permet pas de répondre de façon rapide aux besoins de production spécifique. Les agents ont néanmoins tenté de produire leurs propres animations, mais les solutions trouvées sur le court lapse de temps qu'ils ont pu y consacrer étaient longues à mettre en œuvre ou présentaient des latences (ou lags).

L'objectif est de parvenir à concevoir des vidéos de la maquette 3D de bonne qualité afin de les visualiser lors de présentation. Le problème est que le service ne dispose pas d'outil spécifique à cette création. Il a donc fallu trouver une solution probante et abordable.

III.1.2.2 Les solutions envisagées

Trois possibilités sont ressorties pour composer ces vidéos. D'une part l'utilisation de logiciels présents dans le service, bien qu'ils ne possèdent pas de fonctionnalités spécifiques pour de la vidéo, d'autre part l'emploi de plugin pour des logiciels déjà en possession de Metz Métropole ou enfin l'usage d'un logiciel de capture d'écran vidéo. Le service a déjà testé certaines solutions qu'il n'est donc pas nécessaire de réemployer notamment le plugin « Penguin » de Rhinocéros (problème : il délivre un rendu de type esquisse ou dessin animé et non photoréaliste) en version d'essai et le logiciel de capture d'écran « Camtasia Studio ».

Les plus rapides à mettre en application sont les outils de capture d'écran vidéo. Beaucoup sont gratuits comme « Camstudio », « Wink » ou « Camtasia Studio » mais leurs utilisations ne sont pas idéales puisque le curseur apparait à l'écran et que les mouvements enregistrés sont ceux de la navigation d'un opérateur dans la maquette. Par conséquent, ces mouvements ne sont pas homogènes (vitesse de déplacement et de rotation non uniforme).

Les outils spécifiques au rendu de modèles 3D sont, quant à eux, pour la plupart payants. Comme le logiciel Rhinocéros parvient à gérer efficacement un grand nombre de données 3D, ce sont des plugins pour ce logiciel qui ont été privilégiés. Trois ont ainsi été étudiés en version d'essai dont deux sur Rhinocéros: Bongo et Flamingo. Pour le dernier Maxwell Render, l'expérimentation s'est faite sur SketchUp.

Flamingo pour sa part permet d'obtenir un rendu de qualité avec de multiples options d'éclairage, mais le résultat est toujours sous forme d'image. Il en est de même pour Maxwell Render. Seul Bongo est un module de création vidéo, mais ce logiciel est très peu intuitif. Pour parvenir à un résultat convenable, il aura été nécessaire de lire plusieurs tutoriels et voir différentes vidéos de démonstration. De plus, bien que prévu pour produire de la vidéo, cet outil passe par un moteur de rendu externe (soit celui de rhinocéros, soit celui de Flamingo dans notre cas) avec un temps qui se révèle très long. Par ailleurs, il se porte plus sur le rendu de petits objets comme des pièces de mécanique ou au plus des pièces d'une construction.

Rhinocéros présente nativement un outil de rendu, avec plusieurs mises en œuvre possibles. Les premiers résultats étaient extrêmement longs à produire. En effet, le rendu vidéo est en réalité plus une suite de construction d'images dont chacune pouvait mettre plusieurs minutes à être calculée. Ainsi pour faire un film, plusieurs heures voire plusieurs jours, auraient été nécessaires. Toutefois, une des solutions de ce logiciel, présentée ci-dessous, permet d'acquérir rapidement une suite d'images de bonne qualité, c'est donc elle qui a été retenue. Par ailleurs, ce logiciel est le seul au sein du service à fournir cette prestation.

III.1.2.3 Conception avec le choix retenu

La fonction du logiciel Rhinocéros qui confère un résultat satisfaisant est l'animation par cheminement. En fait, il faut créer une ligne de vision le long de laquelle la caméra va se déplacer et une seconde pour la direction de l'objectif tout au long du déplacement, puis paramétrer l'outil de rendu. L'image suivante propose une illustration de ces cheminements. Les paramètres sont le nombre d'images totales à produire, le format d'image souhaité, la méthode de rendu (moteur de rendu), le point de vue (perspective, dessus, …) et le nom de l'animation. Le résultat se présente alors sous la forme d'un dossier contenant toute la suite d'image créée et un fichier HTML.

En lançant l'animation via le fichier HTML, la vidéo se lance sur une page internet à l'aide du langage Javascript qui permet d'afficher successivement chaque image. Le problème est que le service souhaite avoir une vidéo dans un format spécifique aux vidéos tel qu'AVI ou WMV. La transformation nécessaire peut se faire par l'intermédiaire du logiciel « Windows Movie Maker », qui conçoit la vidéo en affichant les images les unes après les autres durant un laps de temps à définir. Ce logiciel à l'avantage d'être gratuit, de prise en main aisée et rapide en ce qui concerne le traitement.

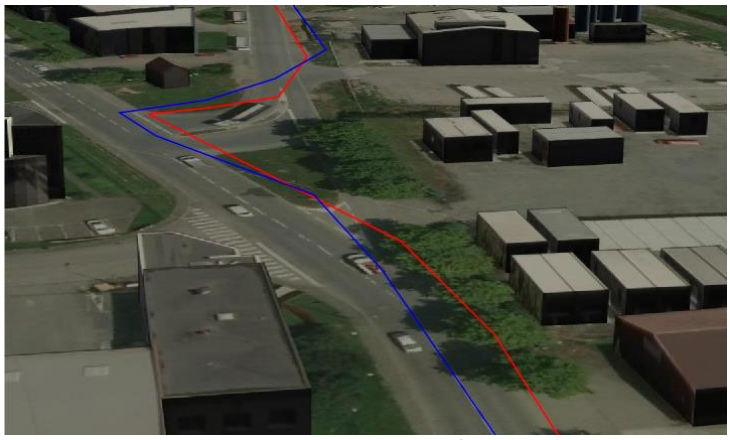


Illustration 13 : Partie du cheminement mis en place pour produire la vidéo sous Rhinoceros. En rouge le cheminement de la caméra, en bleu celui de la direction de l'objectif

Finalement, le passage par ces deux logiciels a permis de réaliser une vidéo de qualité suffisante pouvant être ajustée selon que l'on favorise la qualité de la production ou un volume de données restreint additionné à un temps de conception réduit. Les diverses phases de la création avec des recommandations quant aux paramètres à utiliser pour obtenir une vidéo fluide et convenant à une présentation public sont développées en **annexe n°9**.

Cette suggestion est la seule à relever de la visite virtuelle contrainte, dans le sens où les déplacements dans la maquette sont prédéfinis. En effet, les propositions suivantes sont des solutions dynamiques puisqu'elles autorisent un déplacement libre dans le modèle. Elle se distingue aussi des autres par un passage d'une variante à l'autre moins intuitif et moins interactif, puisqu'elle ne permet pas de choisir le projet que l'on souhaite observer. Il faut alors, soit que la vidéo présente les projets les uns à la suite des autres, soit créer une vidéo par projet et finalement que chacune soit lue au fur et à mesure. La transition d'un projet à l'autre doit alors être soignée pour ne pas être pénalisante.

III.1.3 Le PDF 3D

Le PDF 3D se singularise par son ouverture admise sur tout poste possédant un lecteur de PDF, outil très répandu que ce soit en entreprise ou à domicile. Ce format propose lui aussi une gestion instinctive des divers projets par simple validation ou non d'un objet dans son arborescence (exemple fourni dans l'illustration ci-dessous). La navigation est aisée et plusieurs éclairages du modèle sont disponibles. La complication provient de la taille des fichiers qui atteint par exemple pour le Port de Metz les 280 Mo. Ce volume peut rendre la lecture instable avec notamment un besoin en mémoire vive de 3Go dans cet exemple. La visualisation nécessite donc un poste bien équipé et l'avantage de grande accessibilité disparait. Quant à sa conception, seul le logiciel FME est en mesure de l'effectuer. Il suffit de mettre un format de sortie en PDF avec le passage possible par un outil modifiant le style des modèles (transparence, style de lignes, …). Cependant, tous les formats d'entrée ne fonctionnent pas parfaitement. L'expérience montre, à partir des exports admissibles par les logiciels du service, que le format Collada est celui qui est le mieux interprété (présence de tous les modèles avec leurs texturations).

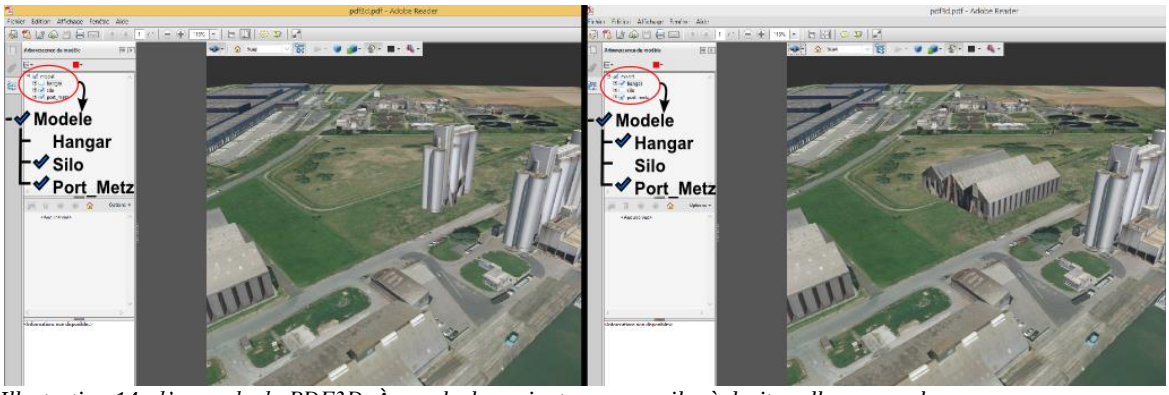


Illustration 14 : l'exemple du PDF3D. À gauche la variante avec un silo, à droite celle avec un hangar.

III.1.4 L'application de réalité virtuelle

Conçue à partir d'Unity, cette nouvelle approche conserve le menu créé précédemment, mais nécessite de remplacer la caméra de réalité augmentée de Vuforia par la caméra de base d'Unity et de concevoir un script nécessaire aux mouvements de la caméra lors des déplacements dans la maquette. Le script mis en place permet d'obtenir des déplacements horizontaux fonction de l'axe de vision, de zoomer suivant cet axe, de modifier cet axe de vue et contraint la caméra à une hauteur minimale au-dessus du sol. Il est présent en **annexe n°10**. Avec cette méthode, la maquette 3D se trouve sous forme d'un exécutable pour PC sous système d'exploitation Linux, Mac ou Windows, accompagné d'un dossier contenant toutes les ressources nécessaires. Cet outil bénéficie donc d'une large accessibilité et d'une prise en main aisée.

III.1.5 La suite logiciel Terra

Le logiciel TerraExplorer nous a été présenté par la société IGO sur la base d'un échantillon de la maquette 3D. Cette application permet d'intégrer facilement des projets dans une maquette 3D préalablement chargée sur la suite logicielle. Le passage d'un projet à l'autre s'y effectue simplement en décochant le premier puis en cochant le second dans l'arborescence des objets. De plus, l'éclairage est facilement modulable en fonction de l'heure de la journée avec la possibilité d'afficher les ombres des constructions et du terrain. L'inconvénient réside dans le coût d'un tel outil. En effet, la version gratuite de TerraExplorer autorise uniquement la visualisation des données et quelques traitements de base. Il faut alors compter plus de 5K€ HT pour « TerraExplorer Pro », le logiciel nécessaire à l'import de données et aux traitements supplémentaires ainsi que près de 20K€ HT pour « TerraGate » qui permet le stockage sur serveur et la diffusion en temps réel des données géographique en 3D. En plus, le socle de la maquette doit être conçu avec TerraBuilder pour être exploitable. IGO ne conseille pas l'achat de ce logiciel au coût supérieur aux deux autres, mais le passage par ses services pour la création et la mise à jour du socle (opération peu fréquente). En conclusion, cette solution est efficace pour naviguer entre les différentes variantes d'un projet : une fois les projets mis en place sur la version professionnelle, il suffit d'exporter le projet et de l'ouvrir sur une version « Pro » ou non pour visionner son contenu en naviguant dans la maquette. Seul le prix élevé est un frein à l'acquisition.

Pour conclure, sur cinq solutions envisageables, quatre représentent un investissement limité pour un rendu adéquat à une présentation et peuvent donc être réalisées. Alors que la dernière, la solution basée sur la suite logicielle Terra, bien que spécifiquement adaptée à cette fonction de représentation multi-projets, constitue un investissement important qui, pour le moment, n'est pas projeté par le service.

III.2 Préconisations pour un projet collaboratif

Les échanges de données au sein de Metz Métropole auront principalement lieu entre le service SIG qui administre le référentiel 3D et les agences d'aménagement et d'urbanisme, dirigées par Metz Métropole ou dans lesquelles la collectivité est partie prenante, ainsi que le service communication. De plus, des interactions pourront ponctuellement avoir lieu avec des prestataires privés sur certains projets. Ce partage pour être efficace se doit d'être organisé. Cette section a pour objet d'apporter les fondements de cette organisation.

La nécessité d'échange liée à l'utilisation du référentiel 3D par des instances externes au service SIG appelle à la mise en place de recommandations spécifiques. Ces dernières seront orientées vers le partage de données pour la présentation des projets, puisque pour l'instant c'est le seul emploi des données qui requiert une coopération entre différents organes de Metz Métropole.

Tout échange s'effectue par l'intermédiaire de formats de données attachés à l'exploitation qui en sera faite. Ces formats sont alors la base des partages et seront présentés dans un premier temps. Par ailleurs, les agents du service, pour fournir des données dans les formats qui seront indiqués, doivent privilégier certaines méthodes pour produire les livrables ; ce sera la présentation réalisée dans le second point. Enfin, pour que l'utilisateur de données géographiques soit en mesure de connaître l'usage qui pourra en être fait, chacune d'elle est appelée à être assortie d'informations qui la caractérise. En ce sens, le dernier point proposera la conception de métadonnées et développera leurs contenus.

III.2.1.1 Format des données 3D pour les échanges

Comme démontré dans les parties précédentes, un grand nombre de formats sont disponibles pour stocker et partager des informations géographiques en 3 dimensions. Cependant, en fonction de l'utilisation faite des données, certains formats sont à favoriser pour une meilleure compatibilité. Toutefois, lorsque ce sont des personnes privées (au sens juridique) qui doivent fournir un modèle 3D à la collectivité, dans le cadre d'un marché public par exemple, la collectivité se doit de ne pas favoriser de candidats et ne devrait alors pas imposer de formats de type propriétaire obligeant ainsi la possession d'un logiciel particulier, souvent payant. De plus, même si l'échange a lieu au sein de la collectivité, les budgets actuels ne permettent pas l'acquisition de logiciels propriétaires pour chaque utilisation dans l'ensemble des services, les logiciels libres sont à présent privilégiés. La priorité sera donc portée à l'emploi de format ouvert. Le tableau ci-dessous présente, au vu des compatibilités « logiciels/formats » établis auparavant dans cette partie III et dans l'optique d'un usage pour une présentation, les différents formats à utiliser en fonction du mode de visualisation et du sens des échanges. Dans les cas présentés, c'est le service qui produit et transmet le produit fini alors que l'utilisateur externe apporte les éléments nouveaux à inclure.

	Réalité Augmentée	Maquette 3D	Vidéo	PDF3D
Des utilisateurs externes vers le service SIG	CityGML	CityGML	CityGML	Collada
Du service SIG vers les utilisateurs externes	APK ou IPA	EXE	MPA ou WMV	PDF3D

Tableau 5 : le format des données à utiliser en fonction des échanges liés à la présentation de projet

Néanmoins, les échanges ne sont pas destinés à se limiter autour de cette seule fonction de présentation. D'autres instances de Metz Métropole devraient pouvoir à terme avoir accès aux données avec la possibilité d'effectuer des traitements par eux-mêmes ce qui pourrait aussi à l'avenir être le cas de n'importe quel individu dans le cadre de l'opendata, notion qui sera développée dans la partie V. C'est pourquoi le service SIG doit également transmettre des données

dans un format 3D et pas seulement des produits finis dans lesquels l'information 3D n'est plus exploitable. Le choix se porta sur le CityGML puisqu'il est un standard pour l'échange des données 3D et qu'il est accessible au plus grand nombre. De plus, cela permet d'avoir une cohérence avec le format demandé aux utilisateurs externes aux services dans le tableau précédent, évitant ainsi les multiples transformations de formats nuisibles aux données.

Connaissant à présent les formats que l'on souhaite importer et ceux qui doivent être procurés par les agents du service, une méthodologie de conception peut être dégagée.

III.2.1.2 Méthodologie à mettre en œuvre dans le service pour l'échange des données

La méthodologie est présentée ci-après sous forme d'un schéma illustrant la chaîne de traitement permettant un partage organisé des données. Les flèches en noir représentent les données d'entrée dans les logiciels, celles en rouge les données fournies en externe par le service.

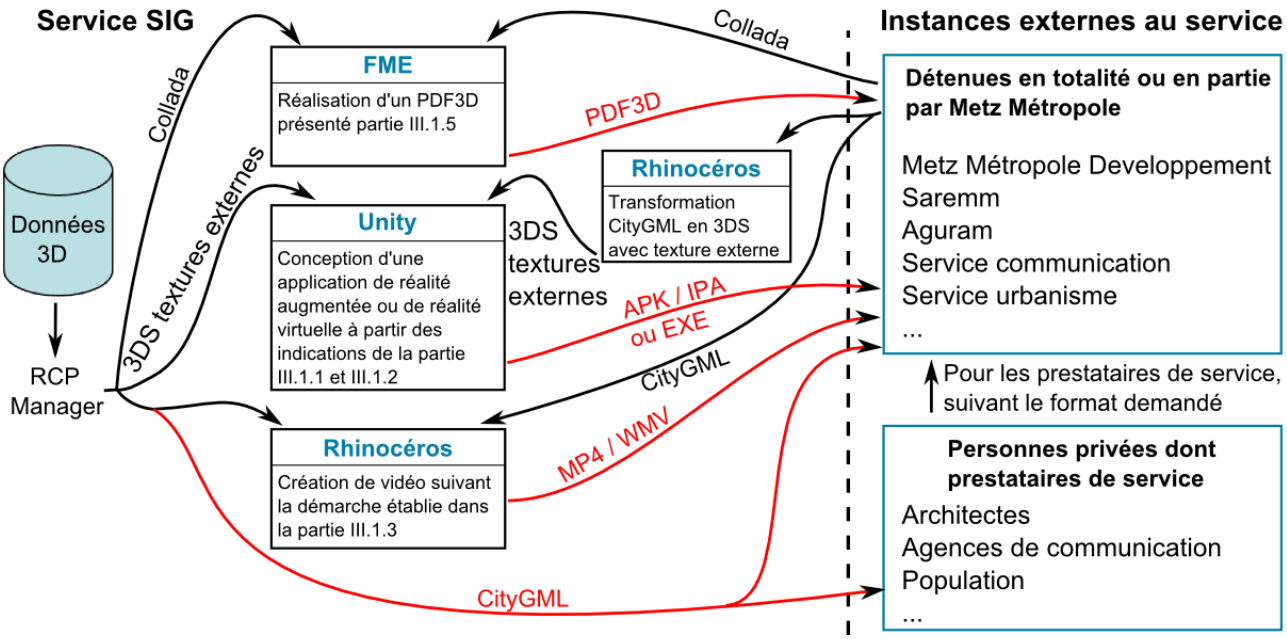


Schéma 4 : Chaîne de traitement pour l'échange des données

Les données contenues dans ces chaînes de traitement peuvent provenir de sources hétérogènes et doivent vivre au cours du temps pour ne pas être délaissées (leurs caractéristiques peuvent donc être modifiées). C'est pourquoi, afin que tout utilisateur soit en mesure de connaître les spécifications de toutes les données, chacune d'entre elles doit être liée à une métadonnée.

III.2.1.3 Les métadonnées

La directive Européenne « INSPIRE » définit des règles concernant les métadonnées utilisées pour décrire les données géographiques des états membres afin que ces métadonnées soient compatibles et utilisables dans l'espace communautaire. Cette directive est compatible avec la norme ISO 19115 qui est une norme de référence pour les métadonnées concernant l'information géographique. Cette norme décrit les modalités et les critères d'implémentation des métadonnées (ce qui doit nécessairement s'y trouver, les éléments optionnels, les différents groupes d'information, …). De plus, cette norme est transcrite dans un schéma XML par la norme ISO 19139.

Les indications sur les données se doivent d'être complètes afin qu'aucune ambiguïté ne soit possible à leur lecture. Toutefois, il faut que celles-ci restent succinctes sans quoi l'utilisateur n'ira pas chercher les informations dont il a besoin et pourra alors faire un mauvais usage de la donnée. Une liste des indications minimales à produire dans les métadonnées pour le cas général d'information en 3 dimensions est dressée ci-dessous. Elle devra cependant être adaptée en fonction des différents cas et suivre la directive et les normes mentionnées ci-dessus pour être complétée:

- La mention de ce à quoi correspond exactement la donnée (les éléments qu'elle représente) avec le niveau de détail.
- La méthode d'obtention.
- Les précisions planimétriques et altimétriques conformément à l'arrêté sur les classes de précision du 16 septembre 2003.
- La date d'acquisition ou de création, ainsi que celle de dernière mise à jour.
- La source.
- Le type d'objet représenté (bâtiment individuel, entrepôt, végétation, …).
- Le système de coordonnées.
- Le format des données (description de la structure).
- S'il a lieu, les dates de création et/ ou de disparition pour chaque élément représenté.

Par ailleurs, si la donnée est constituée d'éléments provenant de sources différentes, les indications ci-dessus doivent être fournies pour chaque source distincte avec un lien entre les sources et les éléments correspondants. L'exemple de la BDTOPO peut être suivi, avec un attribut sous forme de code représentant chaque source différente.

De même que l'environnement est en perpétuel mouvement (démolition et édification de construction, glissement de terrain, …), les données doivent évoluer. Il faut donc prévoir une méthode de mise à jour pour leur actualisation.

III.3 Mise à jour de la maquette

Les risques d'une maquette non à jour seront présentés dans la partie V. Pour éviter ces menaces et après avoir constitué un référentiel 3D de qualité, Metz Métropole doit envisager une solution de mise à jour structurée. À nouveau, plusieurs alternatives s'offrent à la collectivité. Elles se différencient par leurs spécifications, l'exhaustivité des actualisations et leurs coûts. Elles sont divisées en deux groupes, la mise à jour des géométries et celle des textures.

Six solutions ont été trouvées afin d'actualiser les géométries. Elles sont classées par coût croissant dans le tableau en **annexe n°11** qui comporte les spécificités principales des méthodes en ne rapportant que les éléments déterminants. Ces solutions sont également listées ci-dessous :

- Utiliser les mises à jour de la BDTOPO.
- Récupérer les modèles 3D de projets.
- Saisir les données de permis de construire pour les bâtiments spécifiques.
- Réaliser des levés topographiques des points intéressants sur le terrain.
- Effectuer des levés photographiques terrestres des bâtiments.
- Réaliser de nouvelles prises de vues aériennes.

Bien entendu, réaliser une nouvelle prise de vue aérienne serait la solution la plus adéquate. Malgré tout, cette solution est onéreuse et ne peut être effectuée assez fréquemment. La méthode de levé photographique n'a aucun avantage puisqu'elle est plus coûteuse que la solution topographique qui se trouve être plus précise et moins parasitée par des données superflues. La récupération de modèles 3D peut être une solution ponctuelle sur des bâtiments pour lesquels un niveau de détail important est souhaité, mais ne peut être généralisée faute de production suffisante d'éléments à inclure pour le moment. L'utilisation de la BDTOPO permettra naturellement la mise à jour des zones qui ont été conçues avec elle, voire de compléter les bâtiments de faible importance sur la zone de modélisation. En ce qui concerne le secteur des 89km², le levé topographique ou la saisie basée sur les permis de construire (PC) semblent les plus adaptés avec la prise en compte des bâtiments qui correspondrait à un équilibre entre le coût de l'actualisation et son exhaustivité. À la clé de ces dernières, il y aurait l'inclusion des constructions les plus significatives selon des critères à définir (type de propriétaire, taille, originalité, …).

Ces nouveaux modèles 3D ont besoin d'être texturés pour leurs introductions dans la maquette. Pour ce faire, quatre options sont envisageables. La première est la réalisation d'une prise de vue aérienne spécifique. Cependant la dépense élevée qui serait entrainée, aboutit à son rejet. La seconde est de prendre contact avec l'IGN pour savoir si l'organisme est prêt à vendre les images corrigées des aberrations et géoréférencées qu'il produit lors de ces prises de vues. Ces dernières sont notamment effectuées pour la création de la BDORTHO, avec une cadence de mise à jour de 5 ans actuellement et devant passer à 3 ans prochainement. La troisième est la photographie par drone, elle a l'avantage d'un coût moins élevé que la prise de vue aérienne et ne requiert pas des conditions atmosphériques parfaites. La dernière option est la photographie terrestre pour les façades mêlée à l'utilisation des orthophotographies de l'IGN pour les toitures. Les textures des façades seraient alors équivalentes à la celles Haute Définition accomplies par VirtuelCity sur une partie de sa modélisation. Cette alternative est à privilégier tant que le service n'obtient pas de réponse de la part de l'IGN sur la seconde méthode, toutefois elle ne peut être employée pour tous les nouveaux édifices en raison de son prix de revient important.

Par ailleurs, la mise à jour nécessite au préalable une connaissance des bâtiments nouveaux et démolis sur la communauté d'agglomération. L'obtention de ces évolutions peut se faire suivant différentes méthodes. La base de données établie par le service urbanisme listant les PC ainsi que les déclarations préalable et permis de démolir peut servir à détecter les bâtiments nouvellement construits et ceux détruits. Cette base, en plus d'une date de dépôt des demandes, contient une date d'achèvement des travaux qui établit si la réalisation a effectivement eu lieu. Une autre façon de faire, pourrait être de déterminer la différence entre deux MNS afin d'identifier les surfaces pour lesquelles une différence de plusieurs mètres est détectée. L'obstacle à cette alternative est la faible fréquence de production de ces MNS, ordinairement entre 5 et 10 ans.

Finalement, la mise à jour peut être effectuée suivant de nombreuses méthodes, mais bien souvent le coût des solutions les plus adaptées empêche leurs emplois. La collectivité doit alors favoriser l'actualisation des bâtiments de plus grand intérêt aux dépens des autres.

La chaîne de traitement mise en place dans cette partie permet de réaliser les échanges et traitements ordinaires à accomplir par le service SIG et qui sont pour le moment encore principalement liés à de la présentation. Elle fournit aussi une base de réflexion pour l'actualisation du référentiel 3D essentiel à sa pérennisation. En effet, la décision finale revient aux élus, qui après une analyse des services techniques précisent les orientations souhaitées par l'allocation de budgets.

Suite à ces traitements courants, des applications spécifiques doivent être développées pour tirer un profit maximal de l'investissement engendré par l'acquisition des données 3D. La partie suivante est dédiée à l'exemple de l'une de ces applications.

Partie 4 Exemple de produit conçu à partir de données 3D : un modèle densifié de hauteurs des bâtiments

Au cours de ce travail, diverses applications des données 3D ont été identifiées. Cette partie présentera leurs utilisations pour l'évaluation de la hauteur des bâtiments présents sur tout le territoire.

Plusieurs données 3D possédées par le service se réfèrent aux bâtiments. Si les altitudes associées peuvent être extraites de ces informations et combinées avec celles des MNT, la hauteur de ces constructions pourra être déterminée. Cette information trouve son intérêt chez les acteurs de l'aménagement du territoire notamment les services de l'urbanisme. Par ailleurs, cette donnée existe dans la BDTOPO mais sa faible précision ne permet pas d'analyse approfondie.

IV.1 Méthodologie de construction

Dans un premier temps aucun attribut d'altitude n'existe dans les données de la modélisation 3D, il faut donc le créer. Ensuite, le but est d'arriver à déterminer les points appartenant à un bâtiment et de conserver l'altitude maximale de celui-ci ainsi que l'altitude au sol. Pour cela deux problèmes se posent : il faut extraire les altitudes à prendre en compte à partir des différentes données d'entrée puis arriver à créer un lien point-édifice.

Dans un second temps, les résultats obtenus avec les données de la modélisation 3D ne s'étendant pas sur l'ensemble de la communauté d'agglomération, une densification est effectuée avec les données de la BDTOPO.

IV.1.1 Utilisation des données de VirtuelCity

La première question fut de savoir quelle emprise utiliser pour représenter la hauteur des bâtiments. Souhaitant obtenir une hauteur maximale par construction, le choix des emprises du cadastre l'emporta car la BDTOPO donne des polygones recouvrant plusieurs bâtiments et celle qui aurait pu être extraite à partir des lignes de bord de toiture de VirtuelCity ne représente pas toujours l'occupation maximale d'un seul de ces bâtiments, mais peut être divisé en plusieurs parties comme cela a déjà été évoqué pour les chiens-assis (voir illustration ci-dessous pour un exemple différent). Le défaut de la solution choisie est la possible division des emprises du cadastre en plusieurs parties si la construction se trouve sur deux parcelles différentes.

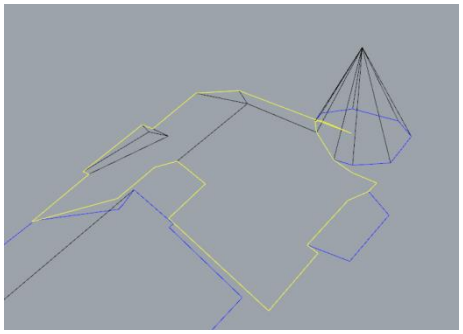


Illustration 15 : Bâtiment provenant des données fournies par VirtuelCity et présentant à lui seul plusieurs emprises de toiture en bleu et dont l'une est colorée en jaune.

Ce choix amène un problème quant à la méthode d'acquisition de l'altitude maximale. En effet les lignes de toiture ne sont pas toutes forcément à l'intérieur de l'emprise cadastrale, l'opérateur « est contenu » ne peut donc pas être utilisé. Comme le montre l'illustration suivante, il se peut aussi qu'il n'y ait aucune intersection entre les deux emprises ou que celle-ci soit erronée, empêchant l'emploi de l'opérateur « intersecte ».

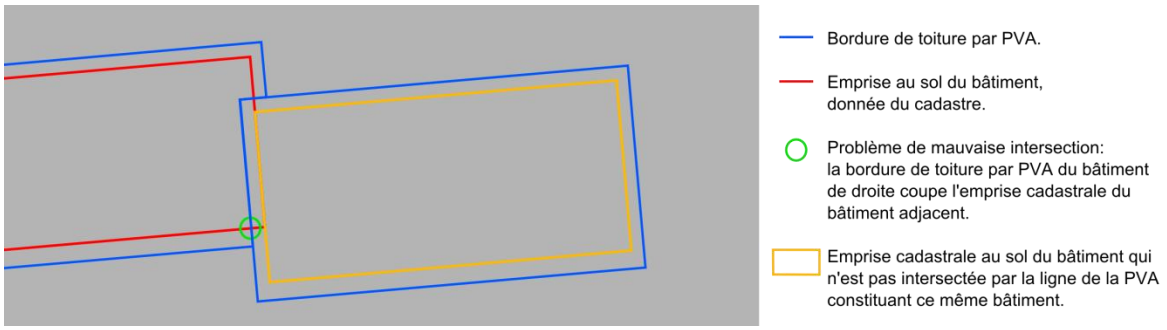


Illustration 16 : Problèmes liés aux différences d'emprises de chaque donnée.

En analysant le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) du marché de modélisation on constate qu'un attribut a été demandé au prestataire pour identifier chaque bâtiment représenté et correspondant à celui du cadastre. Lorsque le lien parcelle cadastrale à altitude maximale sera effectué avec cet identifiant, cette façon de procéder sera nommée « méthode n°1 ». L'extraction de l'altitude de tous les sommets présents à la fois dans les lignes de bord de toit et dans celles de faîtage s'est faite avec le logiciel FME en conservant l'identifiant de bâtiment correspondant à chacun d'eux. Elle a permis ensuite de ne conserver que le point de plus grande altitude par identifiant de construction identique.

Le résultat, exporté sous format Shapefile, contient un point pour chaque bâtiment avec son identifiant cadastre et l'altitude du point le plus haut.

Lorsque les identifiants des bâtiments ne correspondent pas entre les différentes couches, il a fallu utiliser une seconde approche pour l'affectation des altitudes, nommée « méthode n°2 ». Ce problème a été rencontré lorsque le travail était réalisé sur des données cadastrales différentes de celles procurées à VirtuelCity. Les identifiants obtenus ne correspondaient alors pas à ceux de la couche cadastre pour un nombre significatif d'édifices.

La solution envisagée a été de commencer par créer des points intérieurs aux emprises de toiture qui sont, si possible, des centroïdes, puis de leur attribuer la valeur d'altitude maximale déjà calculée et qui possèdent le même identifiant donné par VirtuelCity. Et enfin de réaliser une jointure spatiale avec les emprises cadastrales et de ne conserver pour une même emprise (identifiant cadastre identique), que le centroïde qui possède l'attribut d'altitude le plus élevé. La résultante est un point par emprise cadastrale qui possède l'identifiant de la couche cadastre du bâtiment dans lequel il se situe, ainsi que l'altitude maximale de ce bâtiment. En **annexe n°12** un schéma détaille les différentes étapes de cette solution.

IV.1.2 Exploitation de modèles numérique de terrain

En plus de l'altitude maximale de la construction il faut connaître l'altitude d'un point au sol correspondant afin de définir une hauteur. Le point d'altitude minimale au sol dans l'emprise de chaque construction a été choisi pour déterminer la hauteur maximale qu'elle pourrait réellement avoir. C'est l'utilisation de MNT qui va procurer ce deuxième élément. Comme déjà mentionné, le périmètre de modélisation 3D de 89 km² est recouvert par le modèle numérique de terrain au pas de 1 m. C'est donc avec celui-ci que va être calculée l'altitude minimale au sol dans cette zone.

C'est à nouveau le logiciel FME qui va permettre d'exécuter une jointure spatiale pour allouer les attributs des emprises cadastrales aux points de MNT contenus dans chacune d'elles, puis d'écarter les points non renseignés et de ne retenir que le point d'altitude minimale par bâtiment. Le résultat est ensuite exporté sous format Shapefile contenant pour chaque identifiant de bâtiment, le point du MNT le plus bas lui correspondant, avec son altitude en attribut.

IV.1.3 Premier calcul des hauteurs

À partir des altitudes maximales, minimales et de la couche du cadastre, un calcul de la hauteur peut être réalisé. Les deux méthodes abordées précédemment vont être présentées. Pour chacune, les jointures attributaires pour lier les données ont été réalisées avec FME. Puis, pour gérer de façon optimale les conditions affectant le calcul du champ de la hauteur, les données ont été importées en base afin de les traiter par l'intermédiaire de requêtes SQL. Un schéma représentant la base données mise en œuvre pour la méthode n°1 est présent en **annexe n°13**.

Méthode n°1 : c'est la solution qui a finalement été appliquée à toutes les données de VirtuelCity. L'utilisation d'une jointure attributaire sur les identifiants communs des bâtiments a permis de faire le lien entre les différentes couches de données. Puis, dans un second temps, des requêtes ont conduit au calcul de la différence entre les deux altitudes et à l'affectation de la hauteur résultante dans la table. En **annexe n°14** un schéma détaille toute la procédure pour parvenir à ce résultat.

Méthode n°2 : dans le cas où les identifiants ne correspondraient pas entre les données du cadastre et celles de VirtuelCity pour une partie au moins des bâtiments, cette deuxième méthode sera utilisée. Elle commence avec l'emploi de la première méthode pour lier les données pour lesquelles les identifiants sont identiques. En effet, si la valeur de l'altitude maximale a été déterminée par la première méthode son utilisation est prioritaire puisque qu'elle est plus précise. Puis elle utilise les données conçues avec les points intérieurs pour renseigner, au moyen d'une jointure attributaire sur l'identifiant du cadastre, l'attribut d'altitude maximale des bâtiments non obtenu par la méthode n°1.

Le détail des requêtes mises en œuvre dans la base de données pour le calcul de la hauteur dans les deux méthodes est fourni en **annexe n°15**.

Ces opérations terminées, la hauteur est connue pour tous les bâtiments du modèle. La question se pose ensuite de savoir s'il ne serait pas possible d'étendre ces calculs à toute la communauté d'agglomération puisque le service a vocation à fournir des informations équivalentes sur toutes les communes. La solution proposée dans le point suivant se base sur les données de la BDTOPO.

IV.1.4 Densification avec la BDTOPO

Comme pour la maquette 3D, une seconde forme d'information 3D à disposition dans le service pour le restant de la superficie de Metz Métropole soit environ 210 km² supplémentaire est la BDTOPO. Elle va fournir des éléments complémentaires pour cette zone de même que pour les bâtiments n'ayant pas obtenu d'altitudes maximales avec VirtuelCity bien que situés dans le périmètre de modélisation. L'illustration ci-dessous propose un exemple de cas pour lequel les données de VirtuelCity n'ont pas permis de définir toutes les hauteurs avec la méthode employée. Il faudra être vigilant lors de l'analyse des résultats puisque comme déjà évoqué en amont, la BDTOPO ne peut fournir une détermination de l'altitude équivalente à celle de la restitution 3D.

D'autre part, le MNT au pas de 1 m ne recouvre pas tout le périmètre de Metz Métropole. Ainsi, de la même façon qu'un attribut d'altitude minimale a été créé dans les données du cadastre, un second sera mis en place pour stocker les informations extraites du MNT au pas de 2 m.

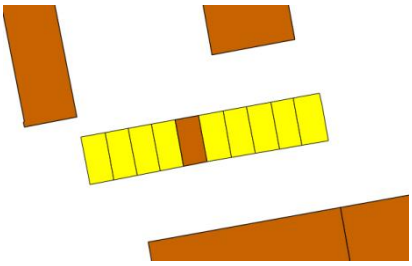


Illustration 17 : En jaune, les emprises non renseignées par les données de VirtuelCity du fait que tout l'ouvrage longitudinal ait été considéré comme un seul bâtiment possédant l'identifiant cadastral de celui en brun.

Pour profiter de l'attribut altitude maximale de façon la plus adaptée possible, à chaque bâtiment de la couche du bâti cadastre est affecté l'attribut de la construction avec lequel il a la plus grande surface en commun (requête SQL avec Pgadmin). Pour optimiser la vitesse de traitement des index spatiaux sont au préalable créés sur les champs the_geom des deux tables (Follin, 2013):

```
UPDATE sig."Bati_MNT_altVECTUEL" SET "ALT_BDTOPO"=
    (SELECT "Z_MAX" FROM sig."fdp_bdt_bati"
    WHERE ST_Intersects (sig."Bati_MNT_altVECTUEL".the_geom,sig."fdp_bdt_bati".the_geom)
    ORDER BY ST_Area(ST_Intersection(sig."Bati_MNT_altVECTUEL".the_geom ,
    sig."fdp_bdt_bati".the_geom)) DESC
    LIMIT 1);
```

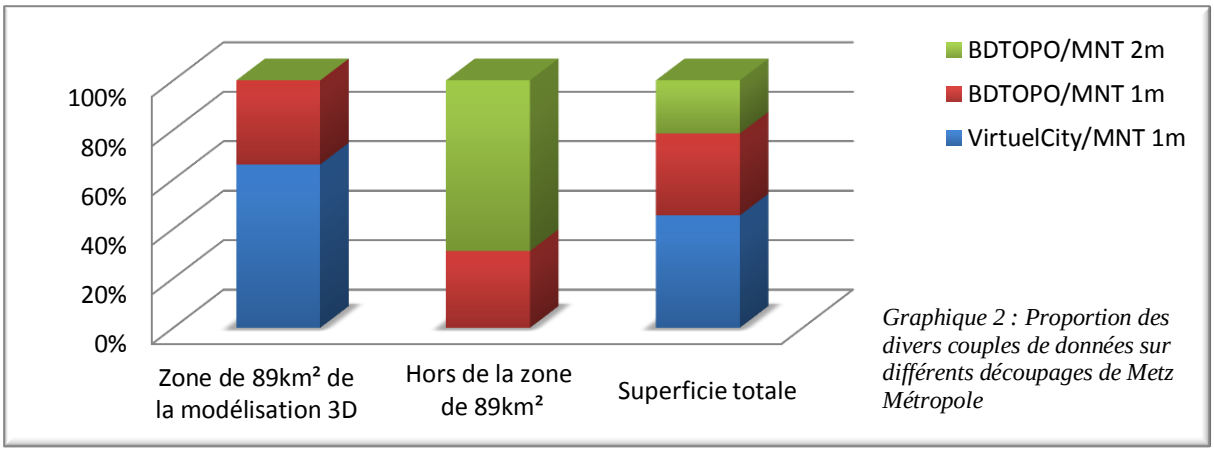
IV.1.5 Seconde détermination des hauteurs

Pour effectuer le calcul de la hauteur entre le point le plus bas d'un MNT et l'altitude maximale des bâtiments de la BDTOPO, les étapes sont identiques à celles du premier calcul : création de la différence dans une vue lorsque les attributs d'altitude maximale et minimale existent puis affectation de cette valeur dans le champ hauteur lorsqu'il n'est pas déjà renseigné (requêtes identiques dans leurs formes à celles utilisées dans le premier calcul). La seule différence est que cette fois l'opération est effectuée à deux reprises, une fois pour le MNT au pas de 1 m et une deuxième fois pour celui au pas de 2 m. Le détail des requêtes mises en œuvre est fourni en **annexe n°16**.

Au final, les hauteurs disponibles ont été déterminées suivant trois mises en œuvre distinctes qui présentent chacune des caractéristiques différentes. Une analyse de chacune des combinaisons en termes de précision et de proportion dans le rendu final est présentée dans la section suivante.

IV.2 Précisions obtenues sur la hauteur en fonction des zones considérées

Les pourcentages obtenus pour les divers couples présents sur la totalité de la superficie de Metz Métropole sont les suivants :



Graphique 2 : Proportion des divers couples de données sur différents découpages de Metz Métropole

Plusieurs points ressortent de ce tableau. D'une part il permet de se rendre compte qu'avec la technique de jointure opérée les données de VirtuelCity ne représentent que 66% des données dans la zone de la restitution. Toutefois la densification par la BDTOPO ne s'effectue majoritairement que sur les très petits ensembles, principalement des garages. Malgré tout, quelques structures de plus grandes tailles sont aussi ajoutées quand elles n'ont, dans les données de VirtuelCity, qu'un identifiant pour plusieurs emprises cadastrales. D'autre part, la zone de la modélisation recouvre près de 69% des habitations alors qu'elle ne représente que 89 km² sur les 305 km² de la superficie

totale de Metz Métropole soit environ 30% de l'ensemble. Cela signifie que le ciblage du marché c'est effectivement porté sur la zone centrale et la plus dense de la communauté d'agglomération.

Pour déterminer les précisions altimétriques sur les différents couples, commençons par un rappel sur ces précisions pour chaque donnée : 30 cm pour VirtuelCity, 30 cm pour le MNT au pas de 1m, 50 cm pour le MNT au pas de 2 m et enfin 2,5 m pour la BDTOPO.
Pour les MNT, en plus de cette valeur de précision vient s'ajouter le fait que le point choisi n'est pas forcément le plus bas. En effet, en fonction des pas d'acquisition choisis, des points peuvent se situer plus bas dans la réalité avec plus ou moins de différence. C'est ce qui fait que VirtuelCity préconise un pas maximal de 1m pour concevoir une maquette.
Quant à la BDTOPO, l'analyse sur son niveau de qualité a montré que des écarts allant jusqu'à une dizaine de mètres pouvaient se retrouver dans les données en plus de la précision sur l'attribut d'altitude sans pour autant être une aberration puisque cela provient des prescriptions de sa création.

Les précisions altimétriques obtenues sont donc :

- Pour le couple VirtuelCity/MNT 1m de 42 cm
- Pour le couple BDTOPO/MNT 1m de 2,5 m
- Pour le couple BDTOPO/MNT 2m de 2,5 m

Le manque de précision des données de la BDTOPO fait que la précision moindre sur le MNT au pas de 2 m n'a pas de réelle influence car elle représente un écart de 4 cm sur une précision de 2,5 m. Il y a quand même une différence aléatoire supplémentaire puisqu'avec ce pas, il y a moins de chance de se retrouver au point le plus bas des constructions qu'avec celui de 1 m.

Finalement, la carte créée à partir de ces résultats ne représente pas exactement les mêmes hauteurs dans le sens où elles ne sont pas déterminées à partir de données homogènes quant à l'attribut d'altitude qui est identifié à partir d'emplacements distincts sur les ouvrages et aux précisions propres à chaque couple. Toutefois la représentation divisée en quatre classes sur la carte représentant chacune un intervalle d'au moins 10 m, le résultat peut être exploité pour avoir un aperçu direct du mode d'habitat dans les différentes zones. De plus, un périmètre est représenté pour spécifier la zone de modélisation où les résultats sont de meilleure qualité. Confer la carte en **annexe n°17**.

Pour tenter de limiter ces différences dans les données, il faut étudier l'apport possible de la donnée 3D non encore exploitée, à savoir l'acquisition LIDAR.

IV.3 Potentialités des données LIDAR pour améliorer les précisions de hauteurs?

Le service dispose d'un relevé LIDAR du Conseil Général recouvrant la communauté d'agglomération et constitué en plusieurs dalles. L'objectif est de savoir si à partir des outils informatiques disponibles, une amélioration de la précision peut être apportée aux données de la BDTOPO et si cela permet de profiter de ces nouvelles informations pour comparer les résultats avec ceux fournis par la société VirtuelCity.
Ce LIDAR est au format LAS et comme mentionné partie I.3.1.1, il n'est pas classifié. Ces données étant très volumineuses, un premier traitement va consister à les classifier afin de ne sélectionner que celles sur lesquelles le travail doit être effectué, ici les bâtiments.

IV.3.1 Classification et exploitation du LIDAR

Après recherche d'outils permettant de réaliser une classification. La suite logicielle LAStools de Rapidlasso a offert la possibilité d'effectuer ce classement des points. Trois outils ont été utiles :

LASGround, LASHeight et LASClassify. Pour certaines dalles trop lourdes, la version gratuite ne permet pas de traiter suffisamment de points, il a donc fallu les découper en deux parties. Pour tous ces outils la possibilité est donnée de ne traiter soit qu'un fichier d'entrée à la fois, soit tous les fichiers d'entrée et dans ce cas, leur fusion en un seul fichier de sortie est possible. Le cheminement réalisé sur ces trois outils est décrit par le schéma ci-dessous :

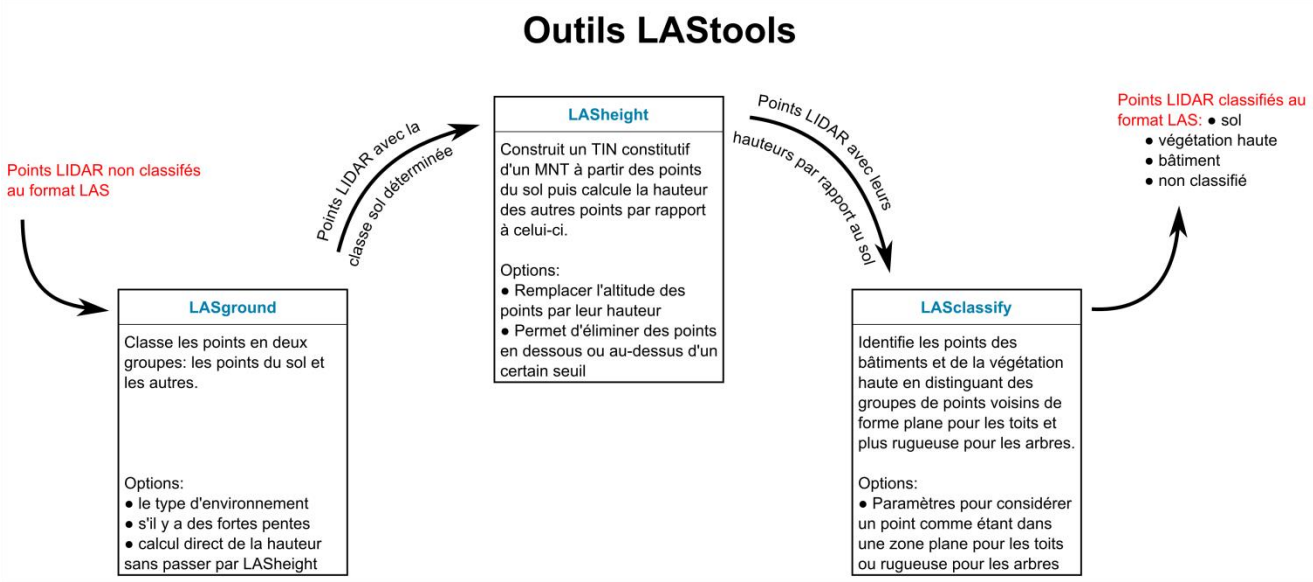


Schéma 5 : Utilisation des outils LAStools

Après l'achèvement de ces opérations sur les outils LAStools pour la première dalle, la visualisation des résultats a pu se faire avec Rhinocéros car il possède un outil d'ouverture de fichiers LAS dans son plugin RhinoTerrain. En observant les résultats, on remarque que certains toits ont un grand nombre de points considérés comme végétation et inversement des points de forêt apparaissaient comme bâtiments.

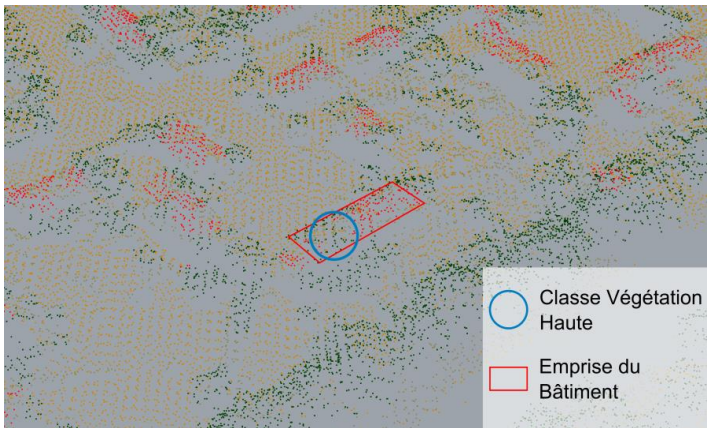


Illustration 18 : Problème de classification. Classe : en vert la végétation, en rouge les bâtiments et de couleur orangée le sol.

Ce problème a une incidence puisque seule la classe bâti doit être conservée. Plusieurs paramètres ont donc été testés pour diminuer ces phénomènes. Mais le problème s'inversait, plus de bâtiments dans la forêt ou plus de de végétation haute dans les bâtiments. Finalement le choix établi pour conserver tous les points de toiture lors de l'export vers la base, a été de maintenir les paramètres de classification par défaut avec l'environnement « ville » mais d'inclure la classe de la végétation haute. Par ailleurs, l'acquisition LIDAR fait apparaitre des bandes de recouvrement dans lesquelles le logiciel ne parvient que difficilement à définir la classe des points et plus spécifiquement celle des constructions. Cela provient du fait que les lignes de vol ne sont pas parfaitement alignées ce qui détruit notamment la planéité. Dans ce premier traitement ces bandes n'ont pas été prises en compte car elles ne représentent qu'une très faible superficie des zones aménagées.

La question fut ensuite de savoir comment traiter ce nombre important de données (Plusieurs centaines de million de points). Sur QGIS ou ARCMAP cette quantité de données n'est pas gérable. À ma disposition pour exploiter au mieux ces fichiers seuls FME ou PostgreSQL peuvent être efficaces. Cependant, pour traiter facilement les opérations arithmétiques sur les colonnes suivant différentes conditions, le choix s'est porté sur PostgreSQL. Les données ont donc été importées dans la base. Seulement, comme l'import ne peut se faire au format LAS, une transformation du fichier LAS en Shapefile est préalablement requise avec dans le même temps un changement du système de référence. Le déroulement de ce dernier point est détaillé par l'intermédiaire du schéma ci-dessous :

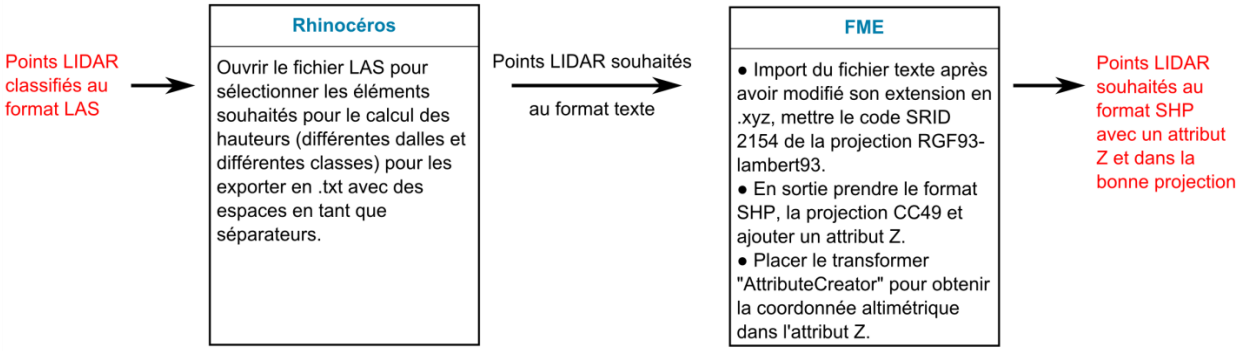


Schéma 6 : Transformation des points LIDAR du format LAS en Shapefile avec modification de la projection

Avant de traiter les données sur la base, un index spatial a été créé pour chaque table sur la colonne de géométrie. Ce qui va permettre de considérablement diminuer le temps de calcul.
D'autre part, la problématique vient du fait que pour déterminer les valeurs de la colonne «ALT_LIDAR» il me faut utiliser toutes les tables regroupant une ou plusieurs dalles. Ainsi, lors du calcul de la valeur de l'altitude, il faut en plus comparer la valeur maximale de la dalle avec la valeur éventuellement déjà calculée sur une autre dalle pour la même construction.
Pour optimiser le temps de calcul la requête a été scindée en plusieurs sous-requêtes en passant par une colonne supplémentaire. Le temps de calcul sur des ensembles de 40 millions de points se situe alors à quelques minutes. Exemple pour la zone 917250 :

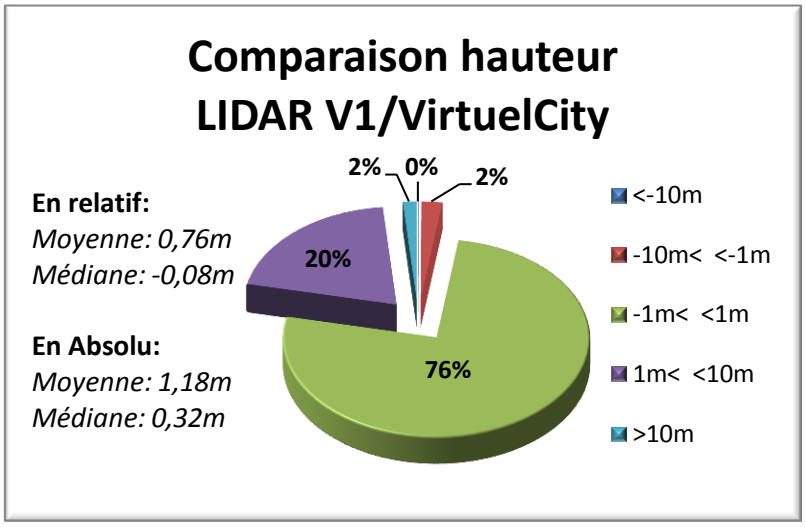
```
ALTER TABLE "3d"."Bati_MNT_altVECTUEL" ADD COLUMN "ALT917250" DOUBLE PRECISION;

UPDATE "3d"."Bati_MNT_altVECTUEL" SET "ALT917250"=
    (SELECT "Z" FROM "3d"."zone917250"
        WHERE ST_Intersects ("3d"."Bati_MNT_altVECTUEL".the_geom,"3d"."zone917250".the_geom)
    ORDER BY "Z" DESC
    LIMIT 1);

UPDATE "3d"."Bati_MNT_altVECTUEL" SET "ALT_LIDAR"="ALT917250"
WHERE "ALT917250" IS NOT NULL AND "ALT917250">"ALT_LIDAR";
```

Puis, des vues ont été utilisées pour le calcul de la hauteur avec chaque MNT de la même manière que cela a été fait pour les autres données. Pour finir, le champ de la hauteur a été mis à jour à partir d'une jointure attributaire sur la clé primaire « gid » conservée dans les vues. Afin de savoir si un rapprochement peut être réalisé entre cette méthode de calcul et les données de VirtuelCity, une comparaison va être établie.

IV.3.2 Comparaisons des résultats

Dans cette partie seule l'analyse de la comparaison des données LIDAR avec celle de VirtuelCity est présentée. En **annexe n°18** figurent les comparaisons des hauteurs obtenues par LIDAR avec celles obtenues par l'intermédiaire de la BDTOPO.

Comme les précisons sur les données LIDAR sont du même ordre de grandeur que celles des données de VirtuelCity avec un peu plus d'une dizaine de centimètres en altimétrie, les différences devraient toutes être faibles. Le graphique ci-dessous présente les résultats provenant de la différence hauteur LIDAR – hauteur VirtuelCity :



Graphique 3 : Résultat de la comparaison entre les hauteurs déterminées avec les données de ViruelCity et du LIDAR V1

Le choix des intervalles est différent que celui pour les comparaisons avec la BDTOPO puisque l'on s'attend à des résultats beaucoup plus proches et donc à des différences beaucoup plus faibles. Et effectivement, trois-quarts des valeurs se situent dans l'intervalle [-1m;1m].
Toutefois, nous nous attendions à obtenir une valeur de la moyenne proche de 0, mais celle-ci est plus proche du mètre avec 0,76 m. En effet on observe que 22% des points du LIDAR se trouvent être plus hauts d'au moins 1 m.

En examinant les résultats, on peut voir que c'est majoritairement le LIDAR qui a des erreurs comparé à VirtuelCity. En effet, comme les points ne sont pas liés à un bâtiment dans les données LIDAR, il suffit d'une faible imprécision sur les coordonnées planimétriques pour qu'un point faisant partie d'une construction dans la réalité, se retrouve dans l'emprise d'une construction voisine. Ainsi, si ce dernier fait partie d'un édifice plus grand, il sera automatiquement pris en compte comme le plus haut point du bâtiment dans l'emprise duquel il se trouve alors que celui-ci est moins élevé.
Néanmoins, en analysant la médiane, on peut voir que les écarts se situent autour de la valeur centrale -0,08 m. Cette valeur peut être attendue puisque logiquement, dans le cas idéal (sans arbres et sans décalage planimétrique), la hauteur obtenue par LIDAR doit être proche de celle de VirtuelCity mais inférieure puisqu'il n'y a pas forcement (probabilité plutôt faible même) de points LIDAR à l'exact emplacement du sommet du bâtiment (souvent ligne de faîtage). La valeur est donc théoriquement majoritairement inférieure d'une dizaine de centimètres ou un peu plus.

Enfin, dans les écarts compris entre 1 et 10 m, on observe un autre phénomène : c'est celui des arbres proches des maisons. Comme j'ai choisi de conserver la végétation haute lors de l'import dans la base, dans les cas où cette végétation se trouve être plus élevée que les constructions et suffisamment proche (voir même dans leurs emprises), les points de la végétation servent de référence pour l'altitude maximale ce qui est bien évidemment une erreur, voir illustration ci-après. De plus ce défaut ne peut pas être corrigé facilement avec de simples requêtes.

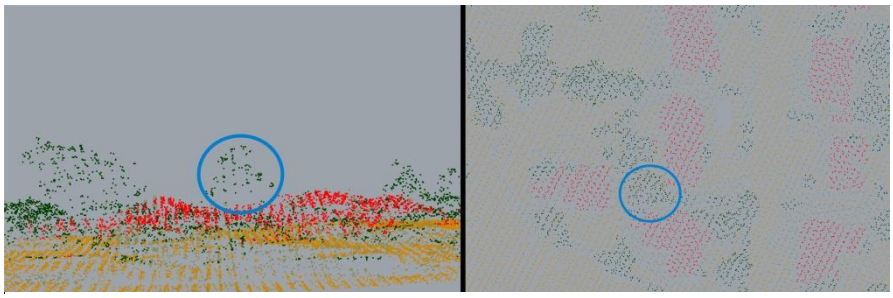


Illustration 19 : Végétation proche d'un bâtiment dont certains points se trouvent dans son emprise cadastral et dont l'un est finalement considéré comme point le plus haut de l'édifice.

Observant que l'erreur induite par la végétation n'est pas négligeable, la façon de classifier le LIDAR va être modifiée. Cette nouvelle approche nommée LIDAR V2 a pour objectif de diminuer la proportion de l'erreur précédente dans les résultats et de compléter ces mêmes résultats en traitant cette fois les bandes de recouvrement dans lesquelles le logiciel ne parvient pas à détecter de construction (illustration ci-dessous).

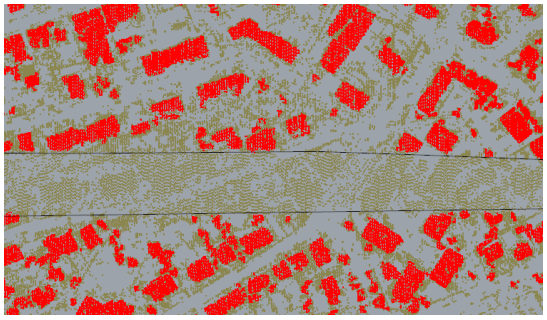
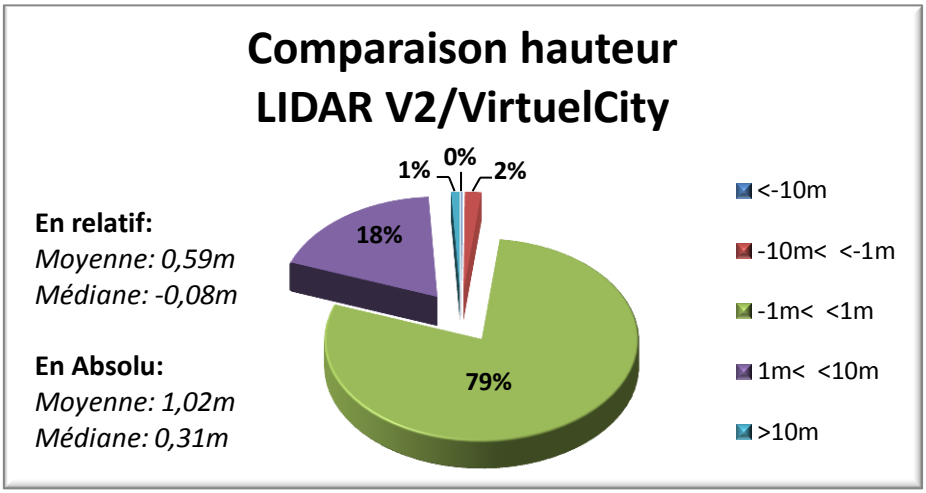


Illustration 20 : Zone de recouvrement délimitée par deux traits noir. C'est une zone dans laquelle le bâti n'est pas classifié.

Au lieu des paramètres par défaut de classification, on privilégiera la détection du bâti aux dépens de la végétation haute. Ainsi la très grande majorité des toits est bien classée comme bâtiment mais, de fait, également beaucoup de végétation haute passe dans la classe du bâti. L'erreur ne sera donc pas éliminée puisque certains arbres proches des maisons seront considérés comme du bâti et donc à nouveau exportés mais la comparaison est tout de même intéressante pour constater si une amélioration sensible en ressort.

Une classification utilisant les nouveaux paramètres a donc été opérée avec LASclassify. Puis sur Rhinocéros seule la classe constitutive des bâtiments et les zones de recouvrement non classifiées ont été exportées. Une seconde comparaison est effectuée, cette fois entre la nouvelle hauteur déterminée par l'approche LIDAR V2 et celle de VirtuelCity. La même différence a été appliquée pour créer le graphique ci-dessous :

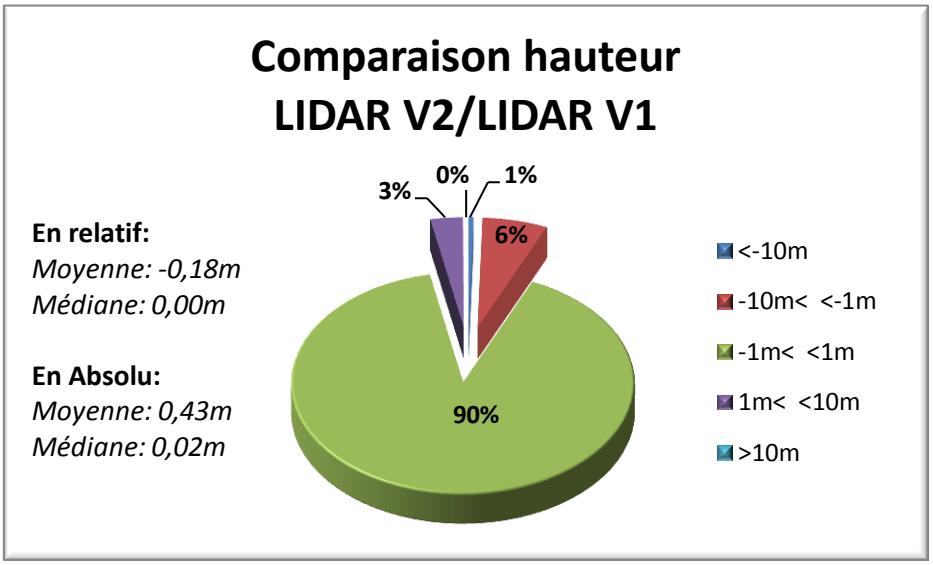


Graphique 4 : Résultat de la comparaison entre les hauteurs déterminées avec les données de ViruelCity et du LIDAR V2

Globalement, le diagramme n'est pas métamorphosé, mais une légère amélioration est visible. En effet, une augmentation de 3% des valeurs comprises entre -1 et 1 m est à signifier. Elle est associée à une diminution de 1% des plus grands écarts (supérieurs à 10m) ainsi qu'une de 2% sur les écarts entre 1 et 10 m. En ce qui concerne les écarts les plus importants, on retrouve le problème des constructions adjacentes déjà évoqué à plusieurs reprises.
Quant aux moyennes, elles ont baissé mais elles restent positives et plus proches du mètre. C'est ici le signe d'une amélioration, même s'il reste encore de nombreuses erreurs.

Par ailleurs, la prise en compte des zones de recouvrement a permis d'augmenter le nombre de bâtiments dans lesquels une altitude maximale a été calculée, passant de 35292 à 35867 dans la zone relevée par VirtuelCity et de 39543 à 41154 pour les hauteurs déterminées via la BDTOPO.

Une dernière comparaison va permettre d'analyser les changements $h_{LIDAR\ V2} - h_{LIDAR\ V1}$:



Graphique 5 : Résultat de la comparaison entre les hauteurs déterminées avec les données de LIDAR V1 et du LIDAR V2

Tout d'abord on observe que 90% des valeurs n'ont pas changé ou très peu (écart inférieur au mètre). Il y a donc 10% des valeurs qui se trouvent être modifiées. Pour la plupart (7%) elles ont diminué, c'est ce qui a lieu lorsque la problématique liée aux arbres disparait mais aussi lorsque celle liée aux bâtiments adjacents n'a plus lieu. Dans ce dernier cas, ce sont les points du bâtiment contigu le plus haut, se trouvant dans l'emprise du plus bas, qui sont tous considérés comme de la végétation haute, classe qui n'est pas retenue pour le calcul cette fois-ci.
Aussi, certains points les plus hauts d'un bâtiment sont toujours considérés comme de la végétation haute. Mais, comme cette fois elle n'est pas prise en compte, l'altitude considérée est inférieure et était par conséquent meilleure précédemment. Le cas se présente par exemple pour la cheminée d'une centrale électrique.

Inversement quand l'altitude de la deuxième méthode est plus grande, deux causes sont majoritaires :

- les emprises des bâtiments sont dans des bandes de recouvrement du LIDAR (ou tout du moins partiellement à l'intérieur). Dans ce cas seuls quelques points étaient utilisés pour définir une altitude maximale dans la première méthode alors que dans la seconde, des points sont présent dans toute l'emprise des constructions. Majoritairement dans ce cas la première méthode était plus juste. En effet, il y a beaucoup d'apparition de cas de confusion pour bâtiments adjacents.

- Des points qui étaient non classifiés antérieurement se retrouvent à juste titre ou non classés comme bâtiments. Et dans les cas où l'altitude de la méthode deux est la plus grande, elle est bien souvent erronée pour une raison identique que dans le point précédent.

En conclusion, le LIDAR paraît globalement être une meilleure approche de la hauteur d'un bâtiment au niveau de sa ligne de faîtage que la BDTOPO. Mais celui-ci présente tout de même des erreurs, elles sont presque exclusivement dues :

- aux arbres plus hauts que la construction, qu'ils soient très proches ou en partie dans l'emprise du bâtiment.

- à des bâtiments adjacents à celui dont on recherche l'altitude maximale et qui possèdent un pourtour limitrophe plus élevé que la construction en question.

Ainsi, son utilisation basée sur cette méthode est optimale pour des constructions chacune isolée l'une de l'autre et lorsque la végétation attenante n'est pas plus élevée que les bâtiments. Notre étude portant sur un milieu urbain souvent dense, elle ne répond pas aux conditions mentionnées ci-dessus.

En résumé, la détermination de la hauteur à partir de données hétérogènes est possible mais selon des considérations distinctes. Ainsi l'utilisation des résultats fournis par les différentes sources ne peuvent être exploités d'une manière identique. Par conséquent, il sera impératif de préciser quelles sont les différences entre les méthodes d'évaluation notamment en termes d'altitudes considérées (lignes de faîtage, niveau de la gouttière,…), de précision et d'erreurs ou de confusions éventuelles.

Pour poursuivre l'amélioration des résultats sur l'altitude maximale des constructions avec une précision du même ordre de grandeur que celle obtenue avec les données de VirtuelCity, il faudrait parfaire la classification du LIDAR. Une seconde piste reposant sur la création d'une zone tampon autour des emprises de bâtiments dans laquelle les points LIDAR ne seraient pas pris en compte peut également être envisagée, supprimant de ce fait le problème des bâtiments contigus. En ce sens, dans le cas où les résultats seraient probants, l'utilisation de la BDTOPO pourrait être évitée.

Le cas de la hauteur des bâtiments n'est qu'un exemple d'application des données 3D. En effet, l'évolution et la démocratisation des outils de gestions et de traitements de ces données, permettent d'ores et déjà leurs ouvertures à de nombreuses autres fonctions.

Partie 5 De réelles perspectives de valorisation de la 3D

A l'exception de l'application des données 3D au calcul de hauteurs des bâtiments, les parties précédentes ont mis en avant la direction trop marquée de l'usage de ces données vers un aspect purement visuel au détriment de leurs potentiels techniques. Pourtant, les possibilités offertes par les informations en trois dimensions sont plus larges que celles en deux dimensions, notamment en matière d'analyse pour laquelle elles permettent un rapprochement entre le modèle et la réalité.

Par ailleurs, on observe actuellement l'émergence de communautés centrées autour de ces données et qui souhaitent établir un consensus entre tous les acteurs de la 3D afin de structurer et propager leurs utilisations. Or, cette démocratisation ne pourra avoir lieu que si la population trouve un intérêt à utiliser ces données et si leur gestion, conviviale, est à la portée du plus grand nombre. Cette dernière partie a pour objet de présenter les ambitions de Metz Métropole vis-à-vis de la 3D, les questions auxquelles elle doit répondre pour pérenniser son référentiel ainsi que les menaces, si elle ne s'investit pas dans une actualisation permanente de ses données.

V.1 Les attentes de Metz Métropole

Après avoir engagé des sommes importantes pour l'acquisition d'une maquette 3D et après avoir développé des produits constituant le « socle communication graphique » des données, Metz Métropole souhaite s'impliquer dans l'instauration d'usages plus techniques de ces informations. Pour s'inscrire dans cette démarche, le service SIG est en lien avec les autres services de la collectivité et est à l'écoute de ces derniers lorsqu'ils estiment que ces ressources pourraient les épauler dans leurs travaux. À partir du moment où un besoin est défini, le service SIG analyse la demande et, si une solution peut être apportée, il en fait part au requérant puis les deux parties décident ensemble de l'opportunité d'un tel usage et de la mise en place ou non d'une application. C'est ce processus qui est en cours avec une commune de l'agglomération dont le détail des besoins sera fourni dans le point n°5.

D'autre part, la collectivité souhaite être compétente sur les productions de vidéos et d'applications de réalité augmentée. En effet, le service SIG désire rester maître de ses données et de ne pas être contraint d'avoir recours à des prestataires extérieurs pour chaque nouvel emploi ambitionné, ce qui le limiterait à la seule confection de cahiers des charges. Un rôle actif est privilégié afin de pouvoir être réactif à tout changement dans le monde de l'information géographique et posséder une connaissance suffisante de ses outils.

Un autre enjeu fondamental pour Metz Métropole est le maintien dans le temps de son référentiel 3D. À la suite de l'étude réalisée sur les différentes solutions de mise à jour, un choix doit être fait, permettant ensuite d'établir les spécifications qui y seront liées et de définir une chaîne de traitement adéquate.

Actuellement le stockage des données effectué avec RCP Manager ne permet pas un traitement directement à partir de cet outil. Il faut alors exporter les informations de ce logiciel pour ensuite appliquer les opérations souhaitées sur un autre programme. De plus, l'enrichissement apporté ne peut, bien souvent, pas être stocké avec le RCP Manager. Il en ressort un éparpillement des données handicapant pour l'élaboration d'une gestion efficace. Ainsi, l'obtention d'une réelle base de données 3D est un désir fort du service.

Aussi, l'émergence des maquettes numériques du bâtiment et des procédés nouveaux introduits par celles-ci doit être prise en compte par le service. Un aperçu du possible devenir de cet ensemble, couramment appelé le BIM, est disponible en **annexe n°19**. Par ailleurs, la population a un rôle à jouer dans le domaine du BIM si celui-ci s'étend au maître d'ouvrage privé ainsi qu'en matière de données 3D en général, ce que va démontrer le point suivant.

V.2 L'approche du citoyen

La tendance actuelle est de fournir un accès le plus ouvert possible à toute la population sur les données des établissements publics. L'État souhaite d'ailleurs créer prochainement un poste d'administrateur général des données. Cette personne aurait connaissance de tous les jeux de données détenus par l'État et les collectivités publiques afin d'avoir une vision globale des informations pouvant être diffusées. Toujours dans un cadre hypothétique, les directives sur l'ouverture des données publiques devraient être transcrites en texte de loi par ajout dans la loi « numérique » en projet, portant entre autres sur la protection des données personnelles et la cybercriminalité (Berne, 2014). Ainsi, la démarche d'ouverture est à présent fortement recommandée mais pourrait devenir une obligation d'ici à 2015.

Plusieurs obstacles à la publication sont rencontrés par les établissements publics. Le premier d'entre eux demeure dans le coût de la diffusion, même s'il a pu être réduit aujourd'hui avec la création par l'État du portail data.gouv.fr initiée par la directive INSPIRE et les démarches d'opendata (Pornon, 2012). En effet, un investissement sous forme de temps de travail est toujours nécessaire puisqu'il faut analyser les données qui peuvent être diffusées et les produire dans un format ouvert. Ce format doit être accessible au plus grand nombre pour atteindre l'objectif d'appropriation par les citoyens. Le second réside dans la problématique de la propriété intellectuelle et de la confidentialité, car on ne peut partager librement des éléments si des droits d'auteur y sont attachés ou s'ils sont de nature sensible. C'est pourquoi Metz Métropole aspire autant que possible à être entièrement propriétaire de ses données. Malgré tout, le service SIG a recours à des produits dont il n'est pas le commanditaire. Dans ce cas il les a soit achetés ou a pu les recevoir de la part d'autres organismes publics (acquisition LIDAR et BDTOPO, reçues du Conseil Général de la Moselle).

En matière de partage, certaines collectivités ont déjà mis en place une infrastructure de distribution de leurs données. Pour cela deux possibilités sont offertes. Soit elles mettent en place une plateforme de diffusion qui leur est propre, soit elles utilisent le portail data.gouv.fr créé par l'état et dédié à cet effet. La communauté urbaine de Lyon est un exemple de collectivité ayant ouvert ses données, puisqu'elle a mis en place un catalogue en ligne contenant déjà plus de 400 données téléchargeables. En ce qui concerne la 3D, ses agents ont mis en ligne une maquette 3D texturée du 3ème arrondissement de Lyon au format CityGML sous licence ouverte.

Concernant la diffusion de la 3D dans le cas particulier de Metz Métropole, pour l'instant le site geo.metzmetropole.fr n'autorise pas le téléchargement de la modélisation. Cependant, cette fonctionnalité est envisagée pour la zone de 89 km², d'autant plus que cette partie de la maquette bénéficie de sources appartenant exclusivement à la collectivité, aucun problème de droit ne se pose alors. Pour les applications de réalité augmentée, l'achat du logiciel Unity rendra possible leurs transmissions à condition que tous les modèles présents dans les maquettes soient affranchis des contraintes de propriétés intellectuelles, tout du moins pour leurs visionnages puisque les modèles contenus dans les applications ne sont pas exportables. La vocation première de cet outil de réalité augmentée étant la présentation de projets aux élus ainsi qu'au public, son ouverture est tout à fait légitime. La conclusion est identique pour les vidéos qui seront créées étant donné qu'elles sont réalisées à des fins similaires. Pour les autres produits à venir une expertise devra à chaque fois être appliquée mettant en balance leurs confidentialités face à l'utilité pour les citoyens.

En conséquent, la politique actuelle de l'État tend à procurer à chacun la capacité d'exploiter, reproduire, diffuser, et adapter les données publiques, que ce soit à titre commercial ou non, sous seule réserve de mentionner leurs origines. Metz Métropole qui pour le moment conçoit en relation avec VirtuelCity des moyens de visualisation de sa maquette 3D pour le grand public, se situe dans une démarche de réflexion en ce qui concerne le partage de données 3D exploitables. En revanche, si la collectivité s'inscrit dans cette voie, il ne faut pas qu'elle en oublie l'investissement nécessaire pour le maintien à jour de son référentiel 3D.

V.3 Risques d'une maquette non à jour

La partie III.3 a exposé des méthodes de mise à jour du référentiel 3D du service sans toutefois présenter les risques liés à des informations qui deviendraient obsolètes. Cette partie a pour vocation d'en apporter une vision globale pour démontrer l'importance d'une actualisation fréquente.

Les risques sont liés à l'utilisation qui est faite des données. En effet, toutes les applications ne prennent pas en compte les mêmes paramètres ou les mêmes zones. Si elles sont seulement destinées à une visualisation générale de la part de la population, l'omission de quelques constructions sans caractéristiques notables n'est pas un inconvénient. Par contre, si l'on envisage de produire des calculs d'intervisibilité, la présence ou l'absence d'un bâtiment peut largement modifier les résultats. Ainsi, le danger principal est le délaissement des données si elles ne permettent plus d'effectuer des traitements en raison de manques nuisibles à ces derniers. L'emploi serait alors restreint à la présentation et l'exploitation par les services techniques ne serait plus possible.

D'autre part, si l'usage des données 3D continue bien qu'elles ne soient pas complètes, des erreurs peuvent apparaître. Le potentiel photovoltaïque peut être pris pour exemple. S'il manque des constructions sur la maquette, le calcul d'ensoleillement est susceptible de devenir complétement aberrant et le potentiel pourrait être largement réduit. Quelqu'un qui envisagerait alors d'investir sur cette production d'énergie n'obtiendrait pas les rendements attendus, cela pouvant provoquer des incidents économiques. Un exemple de la différence d'éclairement à un même instant (même date, même heure) d'une toiture avec ou sans la présence d'une construction est présentée dans l'illustration ci-dessous dans laquelle la toiture concernée est encadrée en rouge. Par ailleurs, dans cette situation la production de métadonnées comportant la date de la dernière actualisation avec les éléments pris en compte est essentielle pour alerter l'utilisateur sur l'obsolescence éventuelle des informations qu'il exploite.

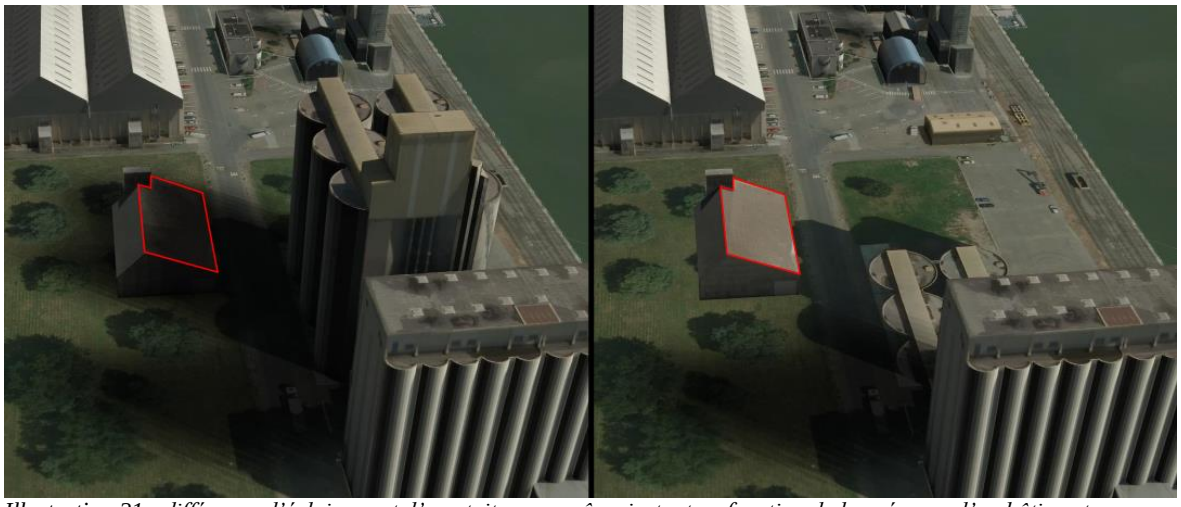


Illustration 21 : différence d'éclairement d'une toiture au même instant en fonction de la présence d'un bâtiment

Finalement, les risques d'une maquette non à jour sont innombrables et fonction de l'application qui en résulte. Il faudra être vigilant avant chaque création ou mise à jour d'un produit d'évaluer consciencieusement, s'il est possible de les réaliser au vu de la complétude des données. L'importance d'informer l'utilisateur sur les éléments qui peuvent ne pas être inclus est donc forte. Par conséquent, le service SIG doit rapidement mettre en place une procédure de mise à jour adaptée à ses besoins, c'est-à-dire qui puisse satisfaire aux exigences, en matière d'exhaustivité des données, des produits qu'il désire mettre en œuvre. C'est l'un des impératifs pour que les données 3D soient en mesure de devenir un référentiel à part entière, un objectif qui va être développé dans le point ci-dessous.

V.4 3D : un référentiel comme les autres

Comme on vient de le voir, des risques sont encourus si le référentiel n'est pas actualisé. Or ce n'est pas le seul facteur de risque. En effet, s'il est trop difficile de s'approprier les données 3D afin de les exploiter, un rejet de leur adoption peut également être constaté. Il est donc nécessaire de former un référentiel semblable à tout autre référentiel de données 2D. En ce sens, il doit être aisé d'acquérir les données, de les mettre à jour et de les partager. Cela ne peut se concevoir que si les données sont stockées au même endroit et de façon structurée.

Jusqu'à présent Metz Métropole ne dispose pas d'outil au sein duquel toutes les informations peuvent être importées et stockées puis employées directement. Toutes les données de la modélisation 3D de VirtuelCity sont stockées dans le logiciel RCP Manager, mais comme il l'a déjà été notifié précédemment, les traitements ne peuvent être effectués directement dans la base de données du logiciel. Il faut exporter la partie de la base souhaitée puis réimporter le résultat. Alors que le couple de système de gestion de base de données (SGBD) PostgreSQL/PostGIS offre la possibilité de travailler directement dans la base notamment avec pgadmin. La solution est donc de concevoir une base de données 3D qui autorise ces opérations. Deux solutions distinctes sont disponibles : soit l'emploi du logiciel propriétaire Elyx 3D, soit le passage par des outils libre qui sont en cours de développement.

La solution Elyx 3D :

Ce logiciel admet toutes les fonctionnalités évoquées ci-dessus. Il accepte l'import de nombreux formats 3D pour les stocker avec un SGBD Oracle ou PostGIS, synthétisé dans le schéma ci-dessous. Des analyses 3D sont accessibles à partir de fonction du logiciel, telles que le calcul d'intervisibilité ou de buffer 3D ainsi qu'un visualiseur 3D. Le service n'avait pas désiré stocker ces données sur cet outil lors de la réception des éléments de la modélisation de VirtuelCity car le stockage ne pouvait se faire que sur un SGBD Oracle avec un coût de plusieurs dizaines de milliers d'euros pour un fonctionnement sur serveur. De plus, il venait récemment de se désengager de l'utilisation du logiciel APIC de la même société. En revanche, avec la compatibilité récemment ajoutée pour la lecture des données PostGIS, la question peut à nouveau se poser. Une estimation du coût du logiciel en date du 23 mai 2014 fournie par la société 1Spatial est de 9000 euros hors taxe pour l'achat et la maintenance la première année puis 1800 euros hors taxe pour les années suivantes, auxquels s'ajoute le montant d'une formation de trois jours. Toutefois, avant toute prise de décision, le service SIG requiert un test de l'outil pour vérifier les compatibilités avec son architecture de base de données et ses apports quant à la gestion et à l'analyse des données.

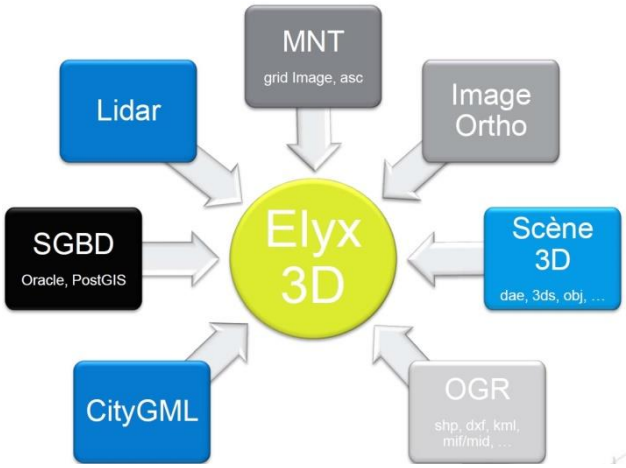


Schéma 7 : Les formats acceptés en lecture native par Elyx 3D

Une autre solution est envisagée par le service. De la même manière qu'il privilégie aujourd'hui l'usage le logiciel SIG libre QGIS, il souhaite savoir s'il peut employer des logiciels libres pour la gestion de ses données 3D.

La solution des logiciels libres :

À l'inverse du logiciel Elyx 3D qui permet nativement d'importer des éléments 3D en base sous SGBD PostGIS, de visualiser ces données et d'exécuter des traitements, cette solution nécessite le passage par plusieurs outils pour obtenir des fonctionnalités similaires. Trois types d'outils sont nécessaires en plus du couple de SGBD PostgreSQL/PostGIS et du logiciel SIG QGIS. Un détail des logiciels testés pour l'import des modèles et pour leur visualisation va être exposé suivi de l'introduction d'une possibilité pour l'analyse des données.

- L'import des modèles

Cette opération peut s'accomplir par l'intermédiaire du logiciel « 3dcitydb importer/exporter». Préalablement aux imports il faut commencer par créer une base de données au format adéquat avec les scripts prévus à cet effet. En résulte une base nommée citydb et constituée d'un total de plus de 50 tables de groupes variés tels que les bâtiments, l'apparence ou la végétation. Dans chaque groupe se trouve ensuite une ou plusieurs tables. Pour les bâtiments, figurent entre autres les tables adresse, bâtiment, éléments du bâtiment et ouvertures de la construction. Après construction de la base, le logiciel permet d'insérer des fichiers CityGML en répartissant chaque élément dans la table lui correspondant. Par ailleurs, des fonctions d'export aux formats CityGML, KML et Collada sont aussi incluses.

- La visualisation des données 3D

Pour visualiser ces données, trois solutions ont été trouvées, toutes des plugins de QGIS. Ce sont les plugins Globe, Horao et Vizitown. Horao a été développé pour un environnement Linux et son installation sous Windows n'a pas abouti. Globe permet quant à lui, de visualiser des rasters d'élévation sur la sphère terrestre avec des couches 2D plaquées sur celui-ci. Le dernier, à savoir Vizitown est un plugin récemment développé pour afficher les modèles 3D de QGIS dans une page web. Il accepte les rasters d'élévation ainsi que des orthophotographies pour la texturation de ces MNT raster mais seulement s'ils se situent en local sur la machine. Il permet aussi avec un attribut de hauteur, de positionner des points ou lignes à la valeur renseignée au-dessus du MNT ou de procéder à une extrusion depuis le MNT si la couche en question est composée de polygones comme dans l'illustration ci-après. Pour fonctionner, les données vectorielles doivent être présentes en base de données sous SGBD PostGIS et être importées en tant que telles.

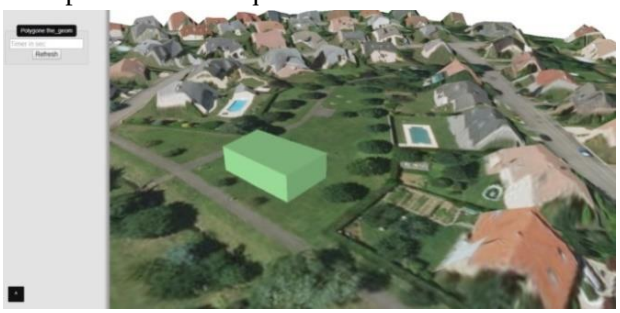


Illustration 22 :Visualiseur Vizitown présentant un MNE texturé et un polygone extrudé à partir de ce dernier

- L'analyse

La librairie SFCGAL exploite les algorithmes géométriques de la librairie CGAL pour effectuer des traitements 3D sur PostGIS, comme l'extrusion ou le calcul d'intersection. Cependant, la complexité de son installation n'a pas permis de la tester. En effet, cette opération requiert l'installation de plusieurs applications ainsi que la compilation préalable de certaines d'entre elles.

En définitif, à l'heure actuelle, deux solutions sont offertes pour structurer les données 3D autour d'un référentiel similaire à celui des données 2D. Soit le passage par Elyx 3D qui contient toutes les fonctionnalités nécessaires au sein d'un même logiciel, soit des outils libres mais qui sont en cours de développement avec des difficultés d'installation et des fonctionnements souvent restreints à des cas bien précis. Quoi qu'il en soit, un investissement de la part de la collectivité sera indispensable, qu'il s'opère sous forme d'achat ou de temps consacré par les agents.

V.5 Appropriation par les services de Metz Métropole

À la suite des premiers produits mis en place par le service SIG, les autres services de la collectivité sont également sollicités pour réfléchir aux nouvelles applications qui pourront s'appuyer sur les données 3D et leur être utiles dans leurs diverses tâches. En ce sens, cette dernière partie va développer l'exemple de la définition de covisibilités utile à la mise en œuvre des Orientations d'Aménagement et de Programmation (OAP) du Plan Local d'Urbanisme (PLU) d'une commune de Metz Métropole puis proposera d'autres conceptions reposant sur la 3D et susceptibles d'avoir une réelle utilité pour la communauté d'agglomération.

V.5.1 Les covisibilités dans le cadre des OAP du PLU d'une commune

Au vu des compétences de Metz Métropole quant aux instructions des autorisations liées au droit des sols et des équipements culturels et sportifs, une commune de la communauté d'agglomération, lui a fait appel pour se faire assister dans la création de son PLU. Or, au sein des OAP de ce document d'urbanisme un chapitre est consacré aux « perspectives paysagères et axes visuels à mettre en valeur et à préserver ». En l'occurrence, des vues doivent être maintenues sur le clocher de l'église de la ville, ainsi que sur d'autres ensembles paysagers remarquables.

Pour être en mesure de faire respecter ces impératifs, le service d'urbanisme aimerait disposer d'un moyen de savoir où les permis peuvent être accordés et à quelles conditions, notamment concernant la hauteur maximale au-dessus du sol admissible pour maintenir les vues en place. Plusieurs problèmes surviennent pour déterminer ces zones. Le plus contraignant est qu'il n'y a pas qu'un seul point de vue qui doit être préservé mais de multiples. En second vient la question de la suffisance des éléments pris en compte pour les calculs. En effet, la végétation n'est pas présente dans le référentiel 3D du service, on pourrait par conséquent avoir tendance à essayer de conserver des perspectives paysagère qui n'existeraient pas en réalité. De plus, la vision ne se fait pas au niveau du sol mais à hauteur humaine. Pour finir, la question de la précision des données est aussi importante puisqu'elle occasionne des incertitudes sur les résultats.

Aujourd'hui, en raison des difficultés attachées au calcul de ces hauteurs maximales admissibles, le problème a été simplifié pour concevoir la carte suivante qui spécifie les zones au sol visible à partir du clocher sans considérer la végétation. Il faudrait alors insérer un modèle de chaque construction pour savoir au cas par cas si elle empêcherait le maintien d'une vue en réalisant à chaque fois l'entièreté de l'opération décrite ci-après.

Illustration 23 : carte de la visibilité du clocher de l'église de Marly représenté en vert. En rouge les zones à partir desquelles il n'est pas visible. Source service SIG.

Afin d'obtenir ce résultat, un agent du service a fusionné les données de la modélisation 3D au MNT dans le but de créer un MNE. Il a ensuite importé ce MNE sous Arcmap puis a exécuté un calcul de visibilité à partir d'un point de vue sur ce logiciel. Toutefois des pistes d'amélioration sont concevables. D'une part, les données issues du LIDAR et se référant à la végétation pourraient être ajoutées pour enrichir le MNE. D'autre part, la seconde solution imagée est décrite en **annexe n°20**, seulement sa faisabilité dépend de la capacité des outils disponibles et de la méthode à employer pour y parvenir qui reste encore à déterminer.

V.5.2 Autres conceptions à envisager et basées sur les données 3D

À l'opposé des exemples d'applications fournis précédemment, ce point va apporter quelques éléments qui n'ont pas encore été testés par Metz Métropole, mais qui peuvent intéresser des services de la communauté d'agglomération.

La représentation du PLU en trois dimensions s'adresse au service de l'urbanisme. Elle devrait commencer par une projection des zones du PLU dans la maquette 3D à l'image du PLU projeté au sol dans le SIG 2D. Puis, ce sont certains textes réglementaires de ces zones qui pourraient être représentés en 3D afin d'analyser leurs impacts, comme par exemple les servitudes ou les règles de prospects additionnées aux hauteurs maximales autorisées. Le service dispose d'ores et déjà des parcelles cadastrales et des emprises des différents secteurs du PLU sur tout Metz Métropole facilitant ces mises en œuvre.

En matière de gestion de l'occupation du sous-sol, à l'instar de la ville Paris qui a engagé un chantier de modélisation 3D de son réseau d'assainissement, une modélisation des réseaux serait envisageable et particulièrement appréciée par le pôle « Infrastructures et Réseaux » pour une gestion plus performante et une meilleure connaissance de ces réseaux. Cette démarche serait en cohérence avec la récente réforme DT-DICT qui a pour but d'améliorer la sécurité des travaux réalisés à proximité des réseaux (Fillon et al., 2011). Il y aurait donc un gain de sécurité lors de l'exécution de travaux souterrains et une aisance accrue pour l'entretien de ces derniers. Cependant l'investissement est considérable et l'opération ne peut se concevoir que sur une vision à long terme. En effet, il serait nécessaire de commencer par l'acquisition des installations neuves puis de mettre à jour les données au fur et à mesure que des travaux sont entamés. Il faudrait en plus, une dynamique globale menée par l'ensemble des gestionnaires de réseaux.

Un dernier exemple, tourné cette fois vers le pôle « Archéologie Préventive » consiste à fournir les données et outils utiles à la conception 3D aux agents de ce pôle. Ils seraient alors capables de créer des modèles 3D à partir des éléments historiques recueillis et de les compléter avec un attribut « datation » pour que ces informations soient introduites dans le référentiel 3D et qu'une application de 4D puisse à terme voir le jour.

Pour conclure, les applications fonctionnelles des données 3D du service SIG de Metz Métropole sont celles qui, pour le moment, ont été imaginées exclusivement par ses agents. Or, pour que ces données soient adoptées par l'ensemble des membres de la collectivité et exploitées au maximum, les outils développés doivent être fonction des attentes du plus grand nombre. Ainsi, comme l'a entrepris le service urbanisme, les autres services sont invités à soumettre leurs attentes pour qu'en résulte de nouvelles applications utilisées quotidiennement par ceux-ci.

Concrètement, cette partie a mis en évidence que les quelques produits présentés auparavant ne sont pas les seuls à pouvoir s'appuyer sur un socle 3D, mais que l'éventail des possibilités est large et ne se limite pas au seul ajout des exemples supplémentaires apportés ici. De plus, l'importance de la mise à jour, d'une gestion efficace du référentiel 3D et de la collaboration entre toutes les instances de la collectivité a pu être affirmée afin de capter l'attention sur ces points délicats qui forment, ensemble, une base à élaborer pour appréhender et faire vivre ces données.

Conclusion

Les perspectives ouvertes par les données en trois dimensions procurent davantage de facultés que celles actuellement proposées par les informations en deux dimensions. Ces nouvelles possibilités offrent aux collectivités locales des outils de communication avec la population plus lisibles ainsi que des applications supplémentaires pour accompagner leurs instances dans leurs missions de service public. Toutefois, la gestion et l'exploitation des données tridimensionnelles posent encore aujourd'hui problème. Ce travail de fin d'études s'est attaché à cette difficulté pour le cas de la communauté d'agglomération Metz Métropole.

Soucieux de la qualité des données, ce travail a commencé par l'analyse des éléments 3D à disposition du service SIG. Il a ensuite permis de mettre en place à Metz Métropole une chaine de traitement relative aux opérations courantes qui seront réalisées en lien avec les données 3D. Elle comprend des solutions pour créer des applications de réalité augmentée, concevoir des vidéos, exposer les variantes d'un projet, mettre à jour le référentiel et échanger les informations. Concernant la partie présentation de projet, le processus obtenu respecte les attentes de la collectivité dans le sens où à chaque fois, au moins l'une des solutions trouvées peut être exploitée à moindre coût et au sein même du service. En effet, Metz Métropole souhaite une utilisation ouverte à tous les projets et une réactivité importante dans la mise en œuvre des dispositifs.

Grâce à un exemple d'application basé sur des données hétérogènes, il est démontré qu'il est d'ores et déjà possible, avec les logiciels du service, de créer un produit unique qui lie ces divers éléments. Par ailleurs, la recherche de moyens pour stocker toutes les informations en trois dimensions dans un même outil a permis d'observer l'émergence de logiciels libres. À l'instar du logiciel SIG QGIS, ils contribueront par la suite à une démocratisation de l'usage de la 3D à un large public. Néanmoins, à l'heure actuelle ils sont réservés à des personnes possédant des compétences en informatique, puisqu'ils ne sont encore pas développés pour un fonctionnement sur tous les systèmes d'exploitation et nécessitent parfois le passage par une compilation pour être exécutable.

Ce mémoire a mis en avant plusieurs contraintes dans la gestion et l'exploitation des données 3D. D'une part chaque application nécessite des ressources différentes en matière de qualité, de complétude et de spécification des données. Il faut donc avoir toujours connaissance de chacun de ces points, d'où la nécessité de rattacher à chaque donnée, des métadonnées. D'autre part, une mise à jour régulière du référentiel 3D doit être effectuée faute de quoi il pourrait devenir inexploitable après quelques années. De plus, cette actualisation peut constituer une nouvelle source d'informations et ainsi contribuer à accroître l'hétérogénéité qui existe déjà entre toutes les sources en possession du service SIG. Enfin, ce TFE a établi le risque de la substitution d'une source de données vis-à-vis de l'homogénéité des résultats. En effet, la partie sur la détermination des hauteurs de bâtiments a montré que les résultats obtenus n'étaient pas homogènes si les données de la modélisation de VirtuelCity étaient remplacées par celles de la BDTOPO ou par celles issues de l'acquisition LIDAR. C'est un constat qu'il est fondamental de garder à l'esprit.

L'objectif de mettre en place une base de données 3D, aisément exploitable et regroupant toutes les données tridimensionnelles dont dispose Metz Métropole n'a pas été atteint. Des pistes pour y parvenir ont été proposées. Il faut à présent que le service suive les avancées des technologies que ces pistes présentent afin de savoir si l'une d'entre elles aboutira à un système fonctionnel pour un coût acceptable par la collectivité locale.

Aussi, des choix sont à faire par Metz Métropole quant à l'utilisation future de ces données 3D. On a vu qu'elle devait passer par une coopération entre le service SIG et les autres instances de la communauté d'agglomération, ainsi que par un partage plus ouvert de ces informations à tout citoyen.

Lors de cette étude, il aurait été intéressant de pouvoir tester le logiciel Elyx 3D annoncé comme étant un « vrai » logiciel SIG 3D afin de vérifier l'adéquation entre cette appellation et les fonctionnalités qu'il comporte. J'aurais également souhaité prouver dans l'exemple de la détermination des hauteurs de bâtiments, que des données issues de méthodes d'acquisition et de traitement différents pouvaient être équivalentes dans certains cas au moins. Mais cette étude fait ressortir la difficulté d'employer des données de sources distinctes dans un but identique.

Si le travail devait se poursuivre, je prolongerais mes essais pour constituer une base de données 3D. Je débuterais alors avec le passage par une machine virtuelle afin d'installer et de tester les outils que je n'ai pas eu l'occasion d'expérimenter faute de version compatible avec mon environnement Windows. Aussi, j'approfondirais mes recherches sur le langage de programmation C# dans l'objectif d'enrichir l'application de réalité augmentée sur plateforme mobile par l'ajout d'une navigation possible dans la maquette 3D sans image cible.

Les données 3D sont finalement appelées à former un référentiel similaire à celui que peut l'être actuellement un référentiel construit à partir d'informations en deux dimensions. Cette introduction de la troisième dimension a commencé spontanément dans les collectivités au vu de l'apport qu'elle peut leur générer dans la connaissance du territoire et des biens. À l'avenir, elle pourrait progressivement s'imposer. D'abord dans le domaine du bâtiment puis, on peut l'imaginer, dans celui des réseaux de distribution pour lesquels les gestionnaires perçoivent déjà la plus-value de ces données.

D'un point de vue personnel, cette expérience m'a permis de prendre conscience des potentialités offertes par les données 3D et d'avoir une première approche de celles-ci. J'ai aussi pu développer, tout au long de ce travail, mon sens du contact et mon autonomie. Enfin l'étape de rédaction m'a appris à synthétiser de manière structurée mes pensées et réalisations.

D'un point de vue professionnel, ces cinq mois furent enrichissants par la découverte de nombreux logiciels comme Rhinocéros ou FME qui sont des outils puissants dans le traitement des données. J'ai également pu prendre contact avec de nombreux professionnels d'horizons différents, obtenant ainsi un aperçu des divers métiers liés aux données géographiques. En somme, ce travail constitue un indéniable apport dans mon parcours professionnel.

Bibliographie

[Archiwizard, 2014] **ARCHIWIZARD**. *Le BIM*, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.archiwizard.fr/>. (consulté le 23/05/2014)

[Beideler, 2014] **BEIDELER J.**. *Le plan pour faire basculer le bâtiment dans le BIM*, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.lemoniteur.fr/>. (consulté le 23/05/2014)

[Berne, 2014] **BERNE X.**. *L'Open Data au programme du grand projet de loi sur le numérique*, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.nextinpact.com/ >. (consulté le 25/05/2014)

[Cellier, 2014] **CELLIER I.**. *Les réformes BIM dans le monde*, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.polantis.info/les-reformes-bim-dans-le-monde/>. (consulté le 23/05/2014)

[De Robien, 2003] **DE ROBIEN**. *Arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'Etat, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte*, JORF n°252 du 30 octobre 2003, 18546-18548p.

[Devillers, 2004]. **DEVILLERS R.**. *Conception d'un système multidimensionnel d'information sur la qualité des données géospatiales*, Thèse en géomatiques, soutenue à Laval: Université Laval, 2004, 167p.

[Directives Européennes[1], 2014] **PARLEMENT EUROPEEN**. *Directive du Parlement européen et du Conseil sur la passation des marchés publics*, article 22, paragraphe 4, 15 janvier 2014

[Directives Européennes[2], 2014] **PARLEMENT EUROPEEN**. *Directive du Parlement européen et du Conseil sur la passation des marchés publics*, considération n°53 du préambule, 15 janvier 2014

[Fillon et al., 2011] **Fillon F. et al.**. *Décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution*, JORF n°233 du 7 octobre 2011, page 16952.

[Follin, 2013] **FOLLIN J-M.**. *TP SIG Géomatique Open Source*, Support de TP de Septembre 2013, 17p.

[Gayte et Ambrosy, 2011] **GAYTE O. et AMBROSY M.**. *Pourquoi utiliser GML ?* , [en ligne]. Disponible sur : <http://georezo.net/blog/geointerop/2011/06/21/pourquoi-utiliser-gml/>. (consulté le 12/02/2014)

[Gibon, 2013] **GIBON C.**. *3D et médiation urbaine à Rennes, Ville et Métropole*, Les rencontres de SIG-la-Lettre, Marne-la-Vallée, 2013, 22p.

[Gröger et al., 2012] **GRÖGER G., KOLBE T., NAGEL C. et HÄFELE K.**. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard*, 2012, 344p.

[GUELLE & FUCHS, 2009] **GUELLE & FUCHS**. *Mémoire technique : restitution à Metz*, 2009, 84p.

[IGN, 2014] **IGN**. *Descriptif de livraison produits vecteur*, 2014, 21p.

[Metz Métropole, 2014] **METZ METROPOLE**. *Metz Métropole à la une*, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.metzmetropole.fr/>. (consulté le 19/03/2014)

[Nicolas, 2014] **NICOLAS J**. *BIM/Maquette numérique : simple outil de travail ou révolution dans l'organisation ?*, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.lemoniteur.fr/>. (consulté le 17/04/2014)

[Plane et al., 2013] **PLANE M. et DICKBURT M.**. *La « Data Value » au cœur du système*, La conférence francophone Esri, Versailles, 2013, 43p.

[Poplavsky et al., 2012] **POPLAVSKY A. et LAUTIER P.**. *Le SIG 3D : Fédérateur de la saisie des données 3D aux applications métiers*, Imagina, Monaco, 2012, 32 p.

[Pornon, 2012] **PORNON H. et DUPASQUIER X.**. *Inspire et Open Data : convergences et divergences*, Géomatique Expert n° 85, 2012, 46-50p.

[Röhr, 2010] **RÖHR T.**. *De la dématérialisation à la virtualisation : 1ers retours d'expérience*, Rencontres TIC, Montpellier, 2010, 26p.

[Sabatier, 2010] **SABATIER J. et GITTON M.**. *La 3D à la Communauté Urbaine de Bordeaux*, Les rencontres de SIG-la-Lettre, Marne-la-Vallée, 2010, 13p.

[Unity, 2014] **UNITY**. *ScriptReference*, [en ligne]. Disponible sur : <http://docs.unity3d.com/Documentation/ScriptReference/index.html>. (consulté le 6/05/2014)

[VirtuelCity, 2012] **VIRTUELCITY**. *Mémoire Technique Metz Métropole*, 2012, 97p.

[Vitruv21, 2014] **VITRUV21**. *Projet*, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.vitruv21.eu/fr/projekt/>. (consulté le 7/05/2014)

[Vuforia, 2014] **VUFORIA**. *Vuforia Developer*, [en ligne]. Disponible sur : <https://developer.vuforia.com/>. (consulté le 24/04/2014)

Potentialités d'un socle de données 3D pour une grande collectivité : le cas de Metz Métropole

L'environnement Metz Métropole

Engagement entier dans la 3D depuis 2 ans

Données LIDAR
Plusieurs MNT
Modélisation en LOD2 et 3
Données de la BDTOPO

Des données

Rhinoterrain/Rhinocity
RCP Manager FME
PostGIS/PostgreSQL ...

Des outils

Développeurs
Cartographes
Topographes

Des compétences

Volonté d'organiser et d'exploiter ses données 3D afin de renforcer la démocratie participative, d'apporter une aide à la décision (pour les élus et les services de MM) et de concevoir des outils de communication.

Qualité des données et outils

La qualité, deux concepts :
- qualité interne : respect des spécifications
- qualité externe : compatibilité entre les données et les applications à créer

Qualité interne

Modélisation

Recouvre une superficie de 89 Km²

- Bâtiments ≥ 30 m². Vérification effectuée avec les emprises provenant du cadastre.
- Précision plani. et alti. de 30 cm. Contrôle réalisé suivant l'arrêté du 16/09/ 2003 portant sur les classes de précision avec deux échantillons tests:
  - levé topographique réalisé lors du TFE.
  - modélisation photogrammétrique précédente sur 1 Km².

Qualité externe

BDTOPO

Comparaison entre les altitudes des limites de bords de toit de la modélisation et celles de la BDTOPO en vue de la création d'une cartographie des hauteurs ($H_{Modélisation}$-H_{BDTOPO})

14 % | 57 % | 29 %

- 2,5 m | 2,5 m

Les outils

Pas d'outil superflu

Complémentarités entre les outils de la conception de modèles de bâtiment à la création de produits de présentation.

Recouvrements de fonctions

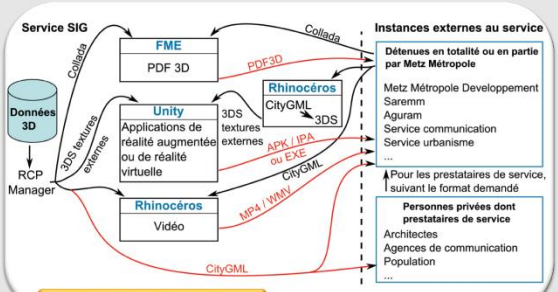
SketchUp
Création d'objet
Rendu 2D
Rhinocéros
3DS MAX

Requêtes spatiales et attributaires
FME
Pgadmin

Chaînes de traitement des opérations courantes

Application de RA réalisée

Préconisations pour un projet collaboratif orientées vers les produits de présentation de projets mis en œuvre au cours du TFE.



Privilégier les formats libres

Recommandations quant à la mise en place de métadonnées.

Mise à jour des géométries et textures

Globale/Restreinte — Périodique/Ponctuelle

Régie/Prestation de services

Plusieurs solutions trouvées qui se différencient par leurs spécifications, l'exhaustivité des actualisations et leurs coûts.

Exemple d'utilisation spécifique

Un modèle densifié de hauteurs des bâtiments

Extraire les altitudes à partir des différentes sources de données (MNT, modélisation LOD 2 et 3 et BDTOPO)

Lier les différentes sources d'altitudes avec les emprises du cadastre via l'attribut d'identification commun ou une intersection géométrique

Résultats non homogènes

Exploiter l'acquisition LIDAR pour tenter d'améliorer la précision hors de la zone de la modélisation 3D

Assemblage de données hétérogènes possible. Mais obligation de préciser quelles sont les différences entre les méthodes d'évaluation pour chaque donnée.

Meilleure approche que la BDTOPO mais des erreurs subsistent

Les perspectives d'évolution

+	-
- Pérenniser le socle - Démarche d'opendata - Développement économique - Participation citoyenne	- Problèmes de diffusion en raison de la propriété intellectuelle et de la confidentialité - Coût global

Vers le citoyen

Base de données 3D

Logiciels :
- libres : 3dcitydb, Vizitown, SFCGAL, ...
- propriétaire : Elyx 3D

Structurer le stockage

Optimiser l'exploitation

Améliorer la gestion

Le futur à Metz Métropole

Développer de nouveaux usages en lien avec les autres métiers de la collectivité, comme : - Représentation 3D des éléments du PLU (prospects, servitudes ...).
- Calcul de covisibilités pour le maintien de vues paysagères.

DALSTEIN Thomas, TFE 2014

Metz Métropole — COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION

le cnam — Ecole supérieure des géomètres et topographes — esgt

Liste des illustrations

Illustration 1 : Logo Metz Métropole....9
Illustration 2 : acquisition par LIDAR, source : bluesky-world....11
Illustration 3 : le visualisateur de Vstory pour la maquette 3D....13
Illustration 4 : export de dalles de la maquette 3D vers Google Earth....15
Illustration 5 : Exemple de l'emplacement d'un point levé pour le contrôle des données de VirtuelCity....18
Illustration 6 : Texturation par PVA pour les images du dessus et par système terrestre en dessous....21
Illustration 7 : Bâtiment trop haut : texturation représentative de la toiture sur la façade. A gauche face Est, à droite face Ouest....22
Illustration 8 : Bâtiment trop bas : texture coupée à travers les fenêtres du dernier étage....22
Illustration 9 : Exemple de point considéré comme altitude maximale de la ligne de toiture (cas de la lucarne rampante), source de l'image : streetview....24
Illustration 10 : Application BON SECOURS de la société Artefacto....27
Illustration 11 : Interface d'Unity avec le modèle 3D mis en place sur l'image cible....28
Illustration 12 : Imprimés écran de l'application créée, en fonctionnement sur plateforme Android....29
Illustration 13 : Partie du cheminement mis en place pour produire la vidéo sous Rhinoceros. En rouge le cheminement de la caméra, en bleu celui de la direction de l'objectif....31
Illustration 14 : l'exemple du PDF3D. À gauche la variante avec un silo, à droite celle avec un hangar....32
Illustration 15 : Bâtiment provenant des données fournies par VirtuelCity et présentant à lui seul plusieurs emprises de toiture en bleu et dont l'une est colorée en jaune....37
Illustration 16 : Problèmes liés aux différences d'emprises de chaque donnée....38
Illustration 17 : En jaune, les emprises non renseignées par les données de VirtuelCity du fait que tout l'ouvrage longitudinal ait été considéré comme un seul bâtiment possédant l'identifiant cadastral de celui en brun....39
Illustration 18 : Problème de classification. Classe : en vert la végétation, en rouge les bâtiments et de couleur orangée le sol....42
Illustration 19 : Végétation proche d'un bâtiment dont certains points se trouvent dans son emprise cadastral et dont l'un est finalement considéré comme point le plus haut de l'édifice....45
Illustration 20 : Zone de recouvrement délimitée par deux traits noir. C'est une zone dans laquelle le bâti n'est pas classifié....45
Illustration 21 : différence d'éclairement d'une toiture au même instant en fonction de la présence d'un bâtiment....50
Illustration 22 :Visualiseur Vizitown présentant un MNE texturé et un polygone extrudé à partir de ce dernier....52
Illustration 23 : carte de la visibilité du clocher de l'église de Marly représenté en vert. En rouge les zones à partir desquelles il n'est pas visible. Source service SIG....53

Liste des schémas

Schéma 1 : Composition du service SIG 10
Schéma 2 : Détermination Zmax, Zmin dans la BDTOPO. Source IGN. 17
Schéma 3 : différence d'altitude dh recouverte par un pixel de 10cm 19
Schéma 4 : Chaîne de traitement pour l'échange des données 34
Schéma 5 : Utilisation des outils LAStools 42
Schéma 6 : Transformation des points LIDAR du format LAS en Shapefile avec modification de la projection 43
Schéma 7 : Les formats acceptés en lecture native par Elyx 3D 51

Liste des graphiques

Graphique 1 : Résultat de la comparaison entre les hauteurs déterminées avec les données de ViruelCity et de la BDTOPO 23
Graphique 2 : Proportion des divers couples de données sur différents découpages de Metz Métropole 40
Graphique 3 : Résultat de la comparaison entre les hauteurs déterminées avec les données de ViruelCity et du LIDAR V1 44
Graphique 4 : Résultat de la comparaison entre les hauteurs déterminées avec les données de ViruelCity et du LIDAR V2 45
Graphique 5 : Résultat de la comparaison entre les hauteurs déterminées avec les données de LIDAR V1 et du LIDAR V2 46

Liste des tableaux

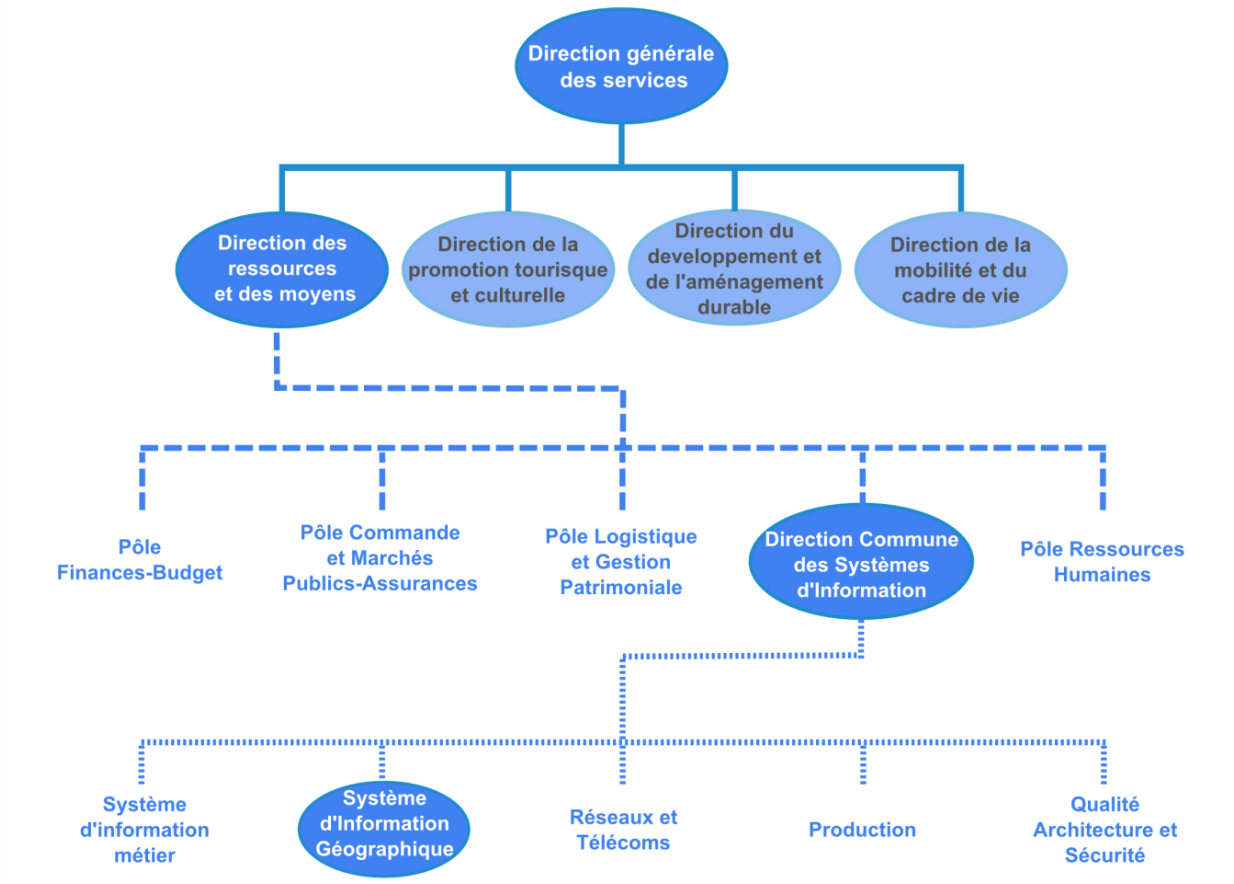
Tableau 1 : Résultat de la comparaison entre les données de VirtuelCity et celles du relevé en relatif : coordonnées de VirtuelCity – coordonnées relevées 19
Tableau 2 : Résultat de la comparaison entre les données de VirtuelCity et celles du relevé en absolu 19
Tableau 3 : Résultat de la comparaison entre les données de VirtuelCity et celles de GUELLE & FUCHS en relatif : coordonnées de VirtuelCity – coordonnées GUELLE & FUCHS 20
Tableau 4 : Résultat de la comparaison entre les données de VirtuelCity et celles de GUELLE & FUCHS en absolu 20
Tableau 5 : le format des données à utiliser en fonction des échanges liés à la présentation de projet 33

Table des annexes

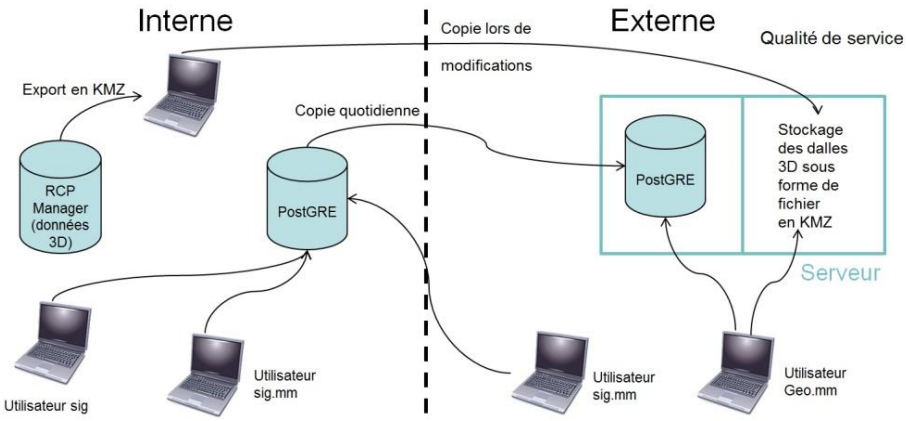
Annexe 1 Organisation administrative et technique de Metz Métropole 63
Annexe 2 Description succincte de différents formats rencontrés au cours de ce TFE 64
Annexe 3 Tableau récapitulatif des logiciels présentés dans la partie I.2. 66
Annexe 4 Carte représentant la répartition des données utilisées pour confectionner la carte des hauteurs.....67
Annexe 5 Exemple de l'application des données 3D dans d'autres collectivités 68
Annexe 6 Les différentes étapes du traitement des données 3D.....70
Annexe 7 Etapes de création d'une application de réalité augmentée sur Unity avec le plugin Vuforia.....71
Annexe 8 Script mis en œuvre pour générer le menu de l'application de réalité augmentée.....72
Annexe 9 Préconisations pour la création d'une vidéo de présentation.....76
Annexe 10 Script mis place pour gérer les mouvements de la caméra dans la maquette 3D. 78
Annexe 11 Solutions pour la mise à jour des objets du référentiel 3D 80
Annexe 12 Jointure altitudes maximales/emprises par la méthode des points intérieurs.....81
Annexe 13 Base de données mise en place pour le calcul des hauteurs 82
Annexe 14 Jonction des emprises cadastrales avec les hauteurs maximales et minimales correspondantes.....83
Annexe 15 Requêtes SQL employées pour déterminer le champ « HAUTEUR ».....84
Annexe 16 Requête SQL pour l'ajout des hauteurs évaluées à partir de la BDTOPO 85
Annexe 17 Carte de la hauteur des bâtiments réalisée à partir des résultats obtenus.....86
Annexe 18 Comparaison entre les hauteurs obtenues par LIDAR et celles acquises à partir de la BDTOPO 87
Annexe 19 L'avenir du BIM dans l'aménagement.....89
Annexe 20 Méthode envisagée pour définir la hauteur maximale des bâtiments admise pour conserver une ligne de vue.....91

Annexe 1
Organisation administrative et technique de Metz Métropole

Organigramme de Metz Métropole :



Architecture mise en place par le service SIG pour le partage et l'utilisation des données :



Source service SIG

Annexe 2
Description succincte de différents formats rencontrés au cours de ce TFE

Les formats libres :

- CityGML : standard de l'OGC depuis 2008 (Gröger et al., 2012). C'est un format d'échange basé sur le langage GML lui-même issu du XML. Le XML est un langage écrit avec des balises pour l'échange de données sur le web. Ces balises permettent de hiérarchiser et organiser les différentes données d'un document. Ce langage assimile les concepts d'éléments et d'attributs. Le GML comporte quant à lui des notions supplémentaires que sont notamment les types d'entités, la géométrie et les systèmes de coordonnées. Pour plus de détails sur le GML un article en fait une synthèse (Gayte et Ambrosy, 2011). Par ailleurs, le CityGML gère des niveaux de détails (LOD) pour des représentations à différentes échelles. Il en comptabilise 5 : du LOD0 qui est un modèle régional avec un modèle numérique de terrain (MNT) et l'emprise possible des bâtiments au sol, au LOD4 modèle architectural complet intérieur comme extérieur.

- SHP : le shapefile également appelé « fichier de formes » est un format initialement propriétaire, développé par ESRI et à présent devenu un format libre. Pour fonctionner il a besoin d'être accompagné d'au moins deux autres fichiers portant le même nom mais d'extensions différentes (DBF et SHX). Dans la BDTOPO, ils sont complétés avec deux fichiers supplémentaires (.LYR et .PRJ).

  .SHP correspond aux fichiers de description de la géométrie des données.
  .DBF correspond aux fichiers de description de la sémantique des données.
  .SHX correspond aux fichiers d'index.
  .LYR correspond aux fichiers de légende pour ArcGIS®.
  .PRJ correspond aux fichiers de projection.

- DAE : (Collaborative Design Activity) fichier texte écrit suivant le langage XML. C'est un format créé pour l'échange des modélisations 3D.

- KMZ/KML : ce sont deux formats libres. Le KML est un langage basé sur le XML, conçu pour la gestion de l'affichage de données géospatiales. Les fichiers KMZ (Keyhole Markup language Zipped) sont des fichiers qui compressent de multiples fichiers en un seul. Ils proviennent de l'univers « Google Earth » et sont notamment utilisés pour associer des fichiers KML (Keyhole Markup Language) avec les images auxquelles ils font référence.

- XYZ : c'est un fichier texte dans lequel se trouvent sur une même ligne les coordonnées en 3 dimensions x, y et z d'un des points, on peut également y ajouter le nom de ces points. Le séparateur employé entre chaque élément peut par exemple être un espace.

- OBJ : (OBJet) c'est un fichier texte qui définit des objets en précisant pour chaque objet 3D : les coordonnées des sommets, les normales et les textures de ces sommets puis finit par lier ces trois informations en formant les faces des objets.

- LAS : (LASer) format créé pour l'échange de nuages de points en 3 dimensions. Il a été développé pour l'échange de points LIDAR mais peut prendre en charge tout nuage de points 3D. Ce sont des fichiers binaires qui sont en mesures de gérer des informations spécifiques aux données LIDAR telles que la classification de la nature des points.

Les formats propriétaires :

- 3DS : (3D Studio) format utilisé par l'éditeur de logiciel Autodesk. C'est un fichier binaire qui se présente sous forme hiérarchisée avec une division en différents blocs.

- 3DM : (Three Dimensional Modeling) c'est le format natif de « Rhino 3 DM », utilisé pour l'enregistrement des données 3D et actuellement employé par « Rhinoceros » pour l'enregistrement.

- SKP : (SketchUP) c'est le format utilisé par le logiciel SketchUp pour l'enregistrement des données 3D.

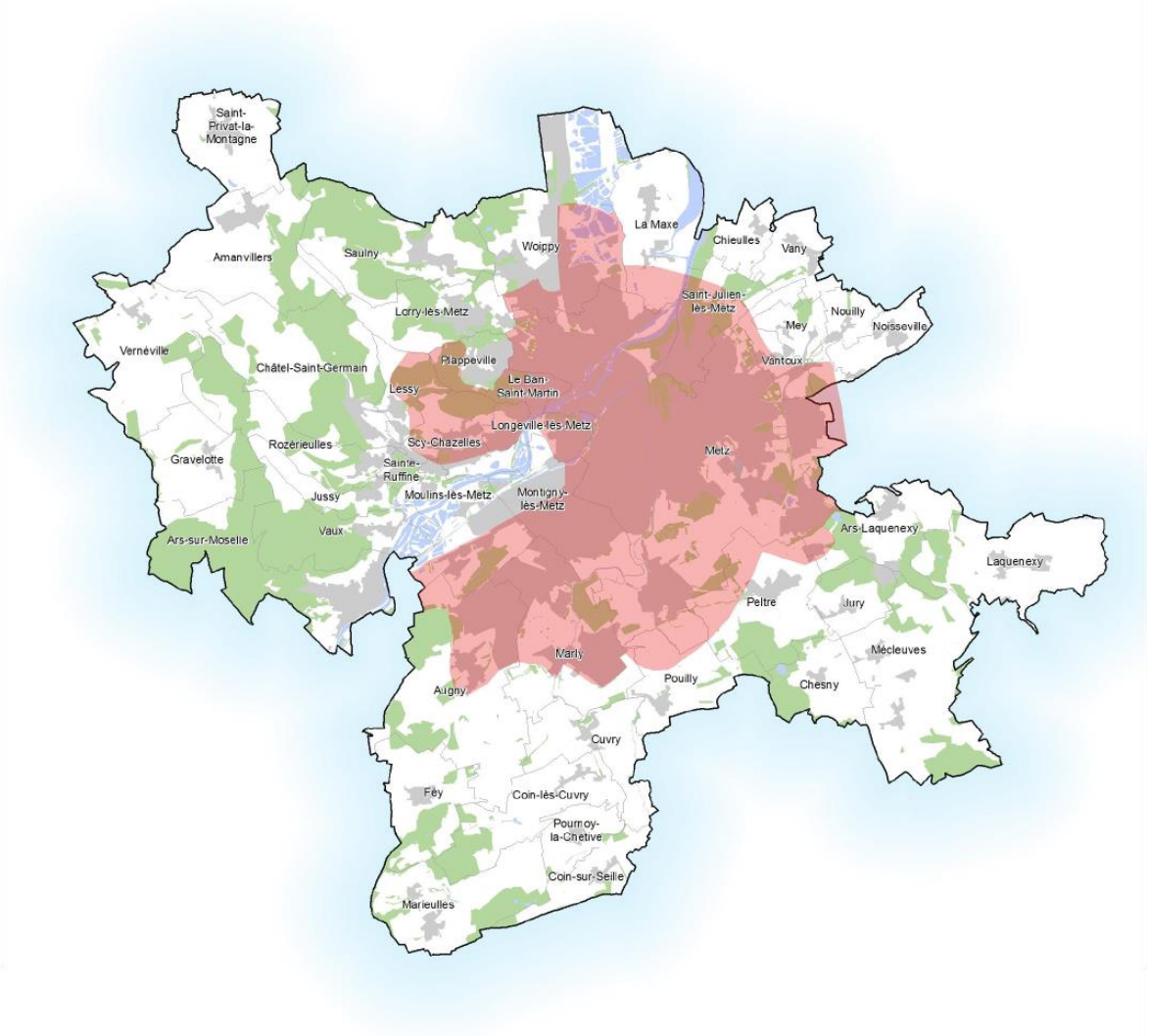
Annexe 3
Tableau récapitulatif des logiciels présentés dans la partie I.2.

Le tableau ci-dessous n'a pas vocation à présenter les logiciels de façon exhaustive. Il contient uniquement les caractéristiques essentielles de ceux-ci dans le cadre de l'étude. Par conséquent, tous les formats d'export et d'import ne sont pas spécifiés de même que toutes les utilisations, analyses et traitements ne le sont pas non plus. Par ailleurs, tous ces logiciels permettent une visualisation des données en 3D.

Logiciels	Principales utilisations	Analyses	Traitements	Import	Export
Modules RhinoTerrain et RhinoCity pour Rhinoceros	Création et texturation de MNT, création et texturation de bâtiments à partir des lignes caractéristiques de toiture	Sous-échantionnage de MNT en fonction des différences de niveaux entre les points, cône de visibilités	Création de suite d'images pour créer de la vidéo, réechantionnage de raster, dallage, création de bâtiments en CityGML	SHP, CityGML, LAS, 3DS	CityGML, 3DS, 3DM, XYZ
RCP manager	Stockage des données 3D et export avec différentes options		Matrice de transformation personnalisable, compression de texture	gdb, 3DS, CityGML, collada	3DS, CityGML, collada
3DS MAX	Conception de modèles 3D à intégrer dans des projets		Rendu réaliste avec ombrage	3DS, OBJ, collada, SHP	3DS, OBJ, collada
FME	Transformation de format, jointure spatiale ainsi que reprojection (traitements en chaîne)	Requêtes spatiales 2D/3D, attributaires	Reprojection	3DS, SHP, CityGML (Plusieurs centaines)	3DS, SHP, CityGML, pdf3D (Plusieurs centaines)
Vstory	Moteur de rendu pour la visualisation de la maquette 3D		Ombrage en fonction de la position du soleil	3DS, CityGML, collada	
TerraWeb3D	Visualisation de maquette 3D sur le web sans plugin			SHP, Collada, OBJ, CityGML	
ELYX 3D	Accès à une base de données 2D/3D et maintien des objets en tant que tel	Requêtes spatiales 2D/3D, attributaires, distances 3D, intervisibilité, buffer 3D	Gestion des niveaux de détail, extrusion sur MNT	SHP, CityGML, collada, 3DS	3DS, CityGML, collada

Annexe 4

Carte représentant la répartition des données utilisées pour confectionner la carte des hauteurs



Périmètre de Metz Métropole dans l'entièreté duquel les données de la BDTOPO, de l'acquisition LIDAR et du MNT au pas de 2m sont disponbiles

Superficie de la modélisation 3D de 89 km² dans laquelle:
- les données ont été acquises par VirtuelCity;
- le MNT au pas de1m est présent. Hors de celle-ci, le MNT utilisé est celui au pas de 2m et il n'existe plus de données fournies par VirtuelCity

Source du fond de plan: service SIG.

Annexe 5
Exemple de l'application des données 3D dans d'autres collectivités

L'exemple du Grand Lyon

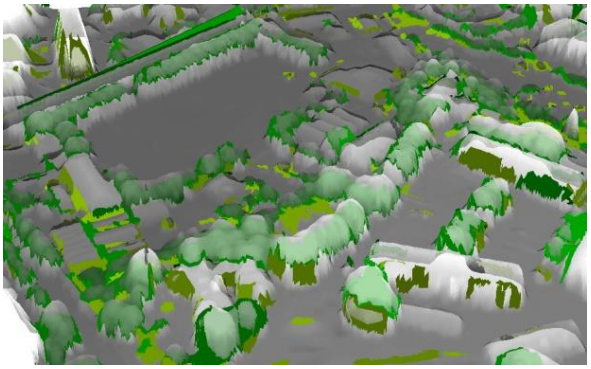
Le service de l'information géographique de Lyon a déjà développé de nombreuses applications basées sur l'exploitation de la 3D. En effet, la première modélisation 3D des éléments de bâtis date de 2003 et en 2011 déjà près de 400 000 bâtiments étaient saisis. En plus de ces bâtiments, ses agents ont créé une bibliothèque d'objets 3D contenant de la végétation et du mobilier urbain. Neuf applications des données 3D mises en place ou étudiées dans cette collectivité se détachent par leurs intérêts (Plane et al., 2013) :

- Cette communauté a mis en place une maquette 3D pour la présentation de ses projets. Cette application est l'une des premières que souhaite instaurer Metz Métropole. En effet, celle-ci intéresse les aménageurs et tous les décideurs de la collectivité. C'est une des raisons majeures de l'acquisition des données.

- A partir de sa maquette, le Gand Lyon a pu représenter les servitudes 3D. Ce qui est difficilement représentable sur un plan en 2 dimensions.

- Un plan local d'urbanisme (PLU) a été projeté sur le socle de données en 3 dimensions, c'est intéressant pour voir les différents types de quartiers présents dans les zones du PLU (comparaison du règlement avec la forme, taille des constructions).

- En 2012, son service a créé une classification des espaces végétalisés produite avec une orthophotographie possédant un canal infrarouge. Ses agents l'ont ensuite croisée avec le Modèle numérique de surface (MNS) afin de coupler les informations et ont utilisé le MNT pour définir des volumes de couches végétales. Dans le même temps, la hauteur des végétaux est déterminée. Cela peut être utile lors de réflexion à propos des futures prescriptions de hauteur que le PLU pourra contenir.



Classification des espaces végétalisés, source le Grand Lyon

- En hiver, certains axes deviennent plus dangereux que d'autres en raison des risques qui peuvent apparaître avec le verglas ou la neige que ce soit pour les piétons ou les usagers de la route. C'est pourquoi ses agents utilisent le MNT pour produire une carte des pentes utilisée pour définir les priorités en termes de viabilisation hivernale.

- Le bruit se propage dans les 3 dimensions en conséquent un modèle numérique d'élévation (MNE) est utilisé pour concevoir de manière plus précise les cartes de bruit de cette collectivité.

- Par ailleurs la maquette 3D leurs a également permis d'effectuer des calculs d'intervisibilité.

- Aussi, ils procèdent à des essais, notamment concernant le potentiel photovoltaïque des toitures. Cette idée s'inscrit dans une démarche de développement durable.

Ces divers exemples montrent qu'une collectivité peut obtenir une large gamme d'applications qui sont le fruit des données 3D. Reste à préciser que cela n'est possible qu'avec un budget considérable tant au niveau de l'acquisition des données que de leurs traitements. Mais le Grand Lyon n'est pas la seule collectivité à s'être engagée dans cette démarche et d'autres peuvent fournir des exemples tout aussi pertinents.

Autres initiatives locales

De plus petites agglomérations ont commencé à exploiter les données en 3 dimensions pour des usages variés. Des utilisations, différentes de celles déjà présentées, sont introduites ci-dessous pour trois collectivités distinctes:

- L'exemple de Rennes (Gibon, 2013) :

- En visant plus loin que la troisième dimension, Rennes a conçu une maquette 3D à différentes époques c'est-à-dire a employé la 4D. En effet cela permet d'afficher un environnement en 3D en visualisant les changements qui se sont opérés au fil du temps.
- Ses services ont mis en ligne directement l'entièreté de la maquette 3D avec des fiches explicatives des grands projets en cours sur l'agglomération.
- La collectivité a souhaité mettre en place une participation des citoyens à l'amélioration de la maquette avec la possibilité de fournir des photographies de différents points de vue dans la ville.
- Elle a aussi expérimenté une solution de réalité augmentée : projet 3D incrusté dans la réalité en temps réel via un équipement mobile type tablette ou smartphone.

- L'exemple de la Communauté Urbaine de Bordeaux (Sabatier, 2010) :

- Cette collectivité permet le téléchargement des bâtiments de quelques dalles au format 3DS. Cela permet une large exploitation de ceux-ci et s'inscrit dans un processus de partage des données, dans lequel s'inscrit « l'opendata » encouragé par l'Etat et l'Union Européenne.
- De plus, elle a créé une représentation des déperditions de chaleur des constructions à partir de données thermographiques aérienne plaquées sur les toits des bâtiments de la maquette. Elle permet de connaître les bâtiments pour lesquels une amélioration de l'isolation est prioritaire. Cette initiative pourrait être réalisée en ajoutant une cartographie sur les murs des bâtiments pour obtenir une vision globale des points de déperditions sur une maquette 3D.

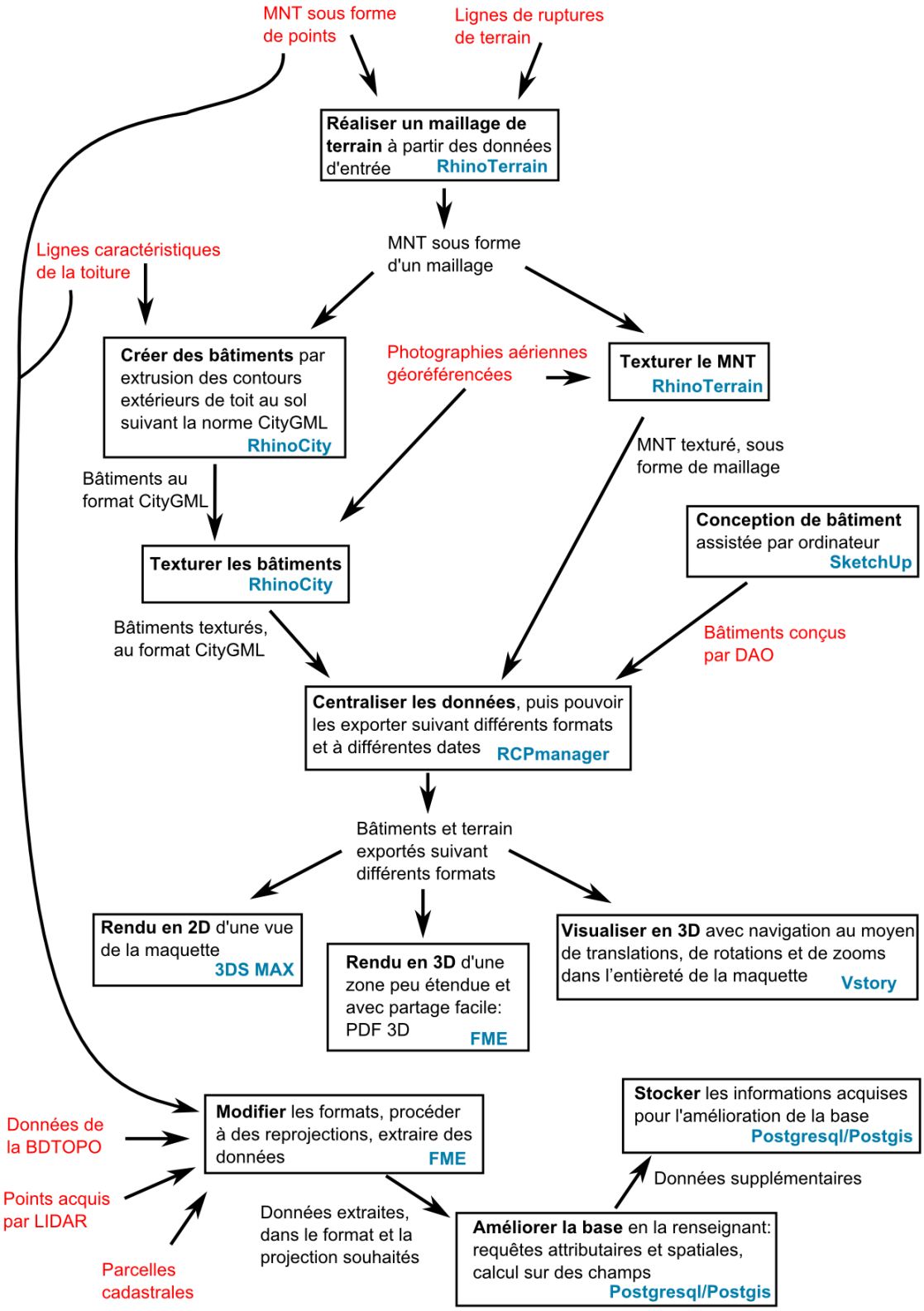
- L'exemple de la Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard (CAPM), (Röhr, 2010) :

- Aujourd'hui les cartes de risques doivent être réalisées de façon de plus en plus précise afin d'anticiper au mieux les conséquences de certains risques naturels mais aussi technologiques. C'est pourquoi une simulation et visualisation d'une crue dans le cas d'une rupture de barrage a été réalisée sur la maquette 3D. De cette façon l'impact d'un tel événement est compréhensible par tous et cela permet une meilleure prise en considération.

Simulation de crue, source : vidéo de la CAPM « Simulation d'une crue liée à la rupture du barrage du chatelot »

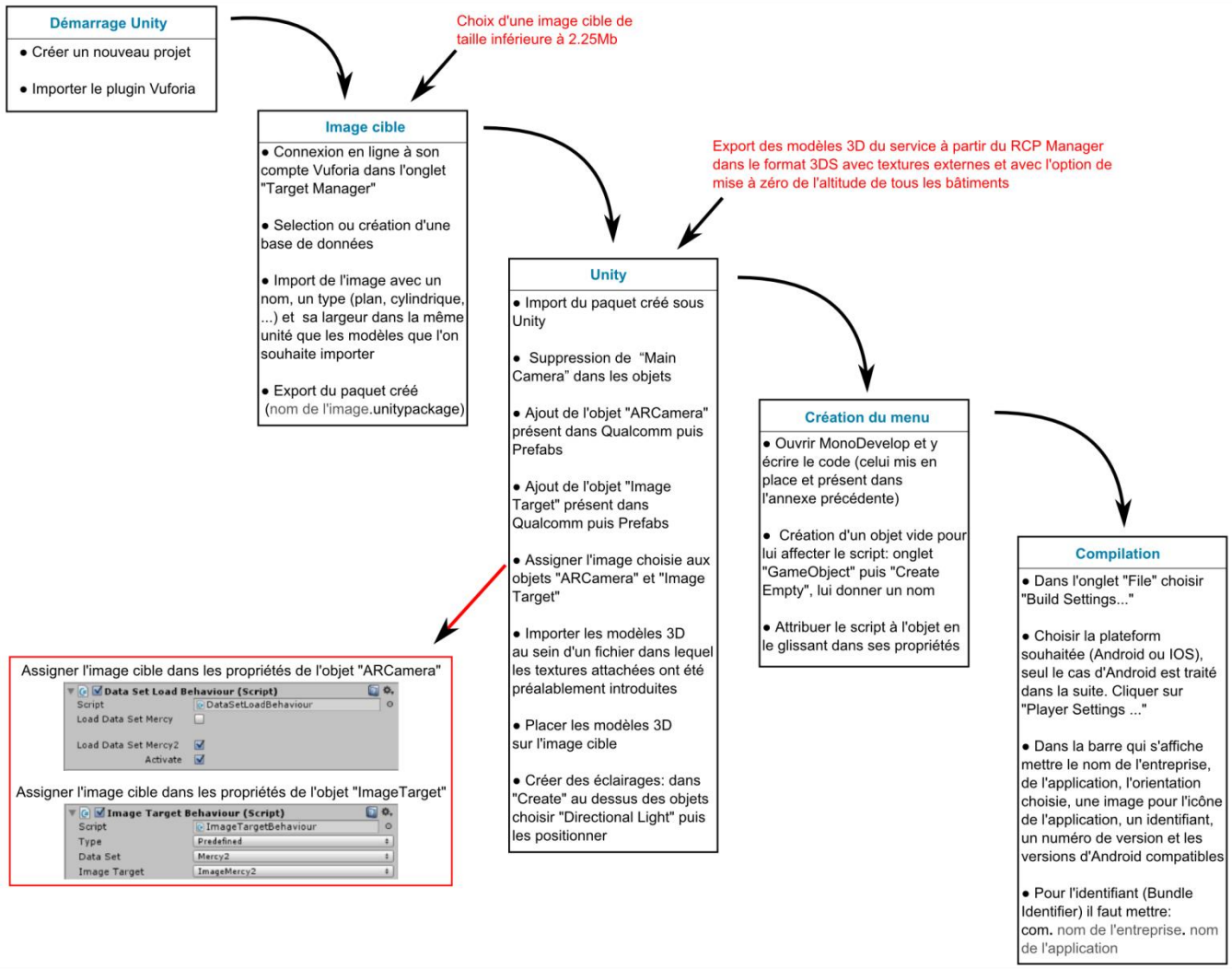
Annexe 6
Les différentes étapes du traitement des données 3D

Ce schéma comporte un choix d'outil possible (en bleu) pour chaque étape du traitement (représentée par un encadré) sans pour autant signifier que cet outil est le seul à offrir ces fonctionnalités. Les éléments présentés en rouge sont les données d'entrée.



Annexe 7

Etapes de création d'une application de réalité augmentée sur Unity avec le plugin Vuforia



Annexe 8
Script mis en œuvre pour générer le menu de l'application de réalité augmentée

Script positionné sur un objet vide :

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class MyGUI4 : MonoBehaviour
{
   private egliobject scripteglise;
   private Mercyobject scriptmercy;
   private Batiobject scriptbati;
   public Texture buttonMercy; //définition d'une texture (à importer sur Unity
   dans la case du script MyGUI)
   public Texture buttonEglise;
   public Texture buttonAccueil;

   public enum MenuStep //énumération des différentes pages de menu créées
   {
      PageDem,
      Home1,
      Home2,
      Info1,
      Info2,
      Quitter,
   }

   void Start () {
      scripteglise = GameObject.Find ("egli").GetComponent<egliobject>();
      //GameObject.Find ("egli") permet de spécifier le chemin du script
      scriptmercy = GameObject.Find ("58").GetComponent<Mercyobject>();
      scriptbati = GameObject.Find ("ExportMercy").GetComponent<Batiobject>();
      scriptbati.DesactiveBati();
      scripteglise.DesactiveEgli();
      scriptmercy.DesactiveMercy();
   }

   protected MenuStep mMenuStep = MenuStep.PageDem;

   void OnGUI(){

      float HauteurMenu= 70, EspaceMenu = 5, LargeurMenu = 120; // définition de
      constantes
      GUI.skin.button.fontSize = 21; // modification de la taille du texte pour
      les boutons
      Screen.orientation = ScreenOrientation.AutoRotation; //Pour une rotation
      automatique du menu (activer autorotation dans les paramètres "resolution
      and presentation")

      GUIStyle normalstyle = new GUIStyle("Button");
      normalstyle.normal.textColor = new Color32(141, 180, 226, 255);
      normalstyle.hover.textColor = new Color32(141, 180, 226, 255);
      GUIStyle mystyle = new GUIStyle("Button"); // définir un nouveau style
      appelé "mystyle"
      mystyle.fontStyle = FontStyle.Bold; // texte en gras pour le style
      "mystyle"
      mystyle.fontSize = 35; // taille du texte
      mystyle.normal.textColor = new Color32(141, 180, 226, 255);
      mystyle.hover.textColor = new Color32(141, 180, 226, 255); // couleur de
      l'info avec curseur sur la zone
```

```
GUIStyle stylequitter = new GUIStyle("Button");
stylequitter.fontSize = 30;
stylequitter.normal.textColor = new Color32(141, 180, 226, 255);
stylequitter.hover.textColor = new Color32(141, 180, 226, 255);

GUIStyle styletext = new GUIStyle("Button");
styletext.normal.textColor = new Color32(141, 180, 226, 255);

GUIStyle stylebande = new GUIStyle("Button");
stylebande.normal.textColor = Color.white;
stylebande.hover.textColor = Color.white;
stylebande.alignment = TextAnchor.MiddleLeft;
Texture2D background = new Texture2D(1, 1);
background.SetPixel(0, 0, new Color32(0, 98, 196, 255));
background.Apply();
stylebande.normal.background = background;
stylebande.hover.background = background;

if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Escape)) // action si la case retour d'Android
est appuyée
{ mMenuStep=MenuStep.Quitter;}

switch(mMenuStep) // Permet de tester la valeur mMenuStep, qui est définie
au départ égale à MenuSTep.PageDem
{

case MenuStep.PageDem:

   GUI.Box(new  Rect(0,0,Screen.width,HauteurMenu), "Projet de l'allee du
   chateau a Ars-Laquenexy", stylebande);

   if( GUI.Button(new Rect(20,Screen.height/2-((Screen.width/2-
   40)*288/471)/2,Screen.width/2-40,(Screen.width/2-40)*288/471),
   buttonMercy)    )//288/471 proportion hauteur/largeur de l'image
   {
      scriptmercy.ActiveMercy();
      scriptbati.ActiveBati();
      mMenuStep=MenuStep.Home1;
   }

   if( GUI.Button(new Rect(Screen.width/2+20,Screen.height/2-
   ((Screen.width/2-  40)*288/471)/2,Screen.width/2-40,(Screen.width/2-
   40)*288/471),   buttonEglise))
   {
      scripteglise.ActiveEgli();
      scriptbati.ActiveBati();
      mMenuStep=MenuStep.Home2;
   }
   break;

case MenuStep.Home1:

   if( GUI.Button(new Rect(10, 10, LargeurMenu,HauteurMenu), "Info",
   normalstyle) )
   // Bouton affiché à l'écran avec : sa forme, sa position par rapport au
   bord haut gauche, largeur, sa longueur, le texte contenu, puis un style
   particulier si besoin
   { mMenuStep=MenuStep.Info1;}

   if( GUI.Button(new Rect(Screen.width -10-LargeurMenu, 10, LargeurMenu,
   100), buttonAccueil) )
   {
      mMenuStep = MenuStep.PageDem;
      scriptmercy.DesactiveMercy();
      scriptbati.DesactiveBati();
   }
```

```
        if( GUI.Button(new Rect(10,10 + EspaceMenu + HauteurMenu, LargeurMenu,
        HauteurMenu), "Quitter", normalstyle) )
        { mMenuStep=MenuStep.Quitter;}

        break;

    case MenuStep.Info1:

        GUI.TextArea (new Rect (10,10,420,170),"Hopital de Mercy \n1 allee du
        chateau\n57530 Ars-Laquenexy \nTel: 03.87.55.31.31", mystyle);

        if( GUI.Button(new Rect(10,10 + EspaceMenu +170, LargeurMenu,
        HauteurMenu), "Ok", normalstyle) )
        { mMenuStep=MenuStep.Home1;}

        break;

    case MenuStep.Home2:

        if( GUI.Button(new Rect(10, 10, LargeurMenu,HauteurMenu), "Info",
        normalstyle) )
        { mMenuStep=MenuStep.Info2;}

        if( GUI.Button(new Rect(Screen.width -10-LargeurMenu, 10, LargeurMenu,
        100), buttonAccueil) )
        {
            mMenuStep = MenuStep.PageDem;
            scripteglise.DesactiveEgli();
            scriptbati.DesactiveBati();
        }

        if( GUI.Button(new Rect(10,10 + EspaceMenu + HauteurMenu, LargeurMenu,
        HauteurMenu), "Quitter", normalstyle) )
        { mMenuStep=MenuStep.Quitter;}

        break;

    case MenuStep.Info2:

        GUI.TextArea (new Rect (10,10,420,170),"Eglise \n1 allee du
        chateau\n57530 Ars-Laquenexy ", mystyle);

        if( GUI.Button(new Rect(10,10 + EspaceMenu +170, LargeurMenu,
        HauteurMenu), "Ok", normalstyle) )
        { mMenuStep=MenuStep.Home2;}

        break;

    case MenuStep.Quitter:

        GUI.TextArea (new Rect (Screen.width/2-460/2,Screen.height/2-
        HauteurMenu/2,460, HauteurMenu),"Etes-vous sur de vouloir quitter?",
        stylequitter);

        if( GUI.Button(new Rect(Screen.width/2-110,
        Screen.height/2+HauteurMenu/2+EspaceMenu,100,HauteurMenu), "Oui",
        normalstyle) )
        { Application.Quit(); }

        if( GUI.Button(new Rect(Screen.width/2+10,
        Screen.height/2+HauteurMenu/2+EspaceMenu,100,HauteurMenu),
        "Non",normalstyle) )
        {
            mMenuStep=MenuStep.PageDem;
            scriptbati.DesactiveBati();
            scripteglise.DesactiveEgli();
            scriptmercy.DesactiveMercy();
        }
```

```
        break;

        }
    }
}
```

Scripts positionnés sur les objets 3D correspondants :

Objet Mercy (projet1):

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class Mercyobject : MonoBehaviour
{
   public void ActiveMercy() {
   gameObject.SetActive (true);
   }

   public void DesactiveMercy() {
   gameObject.SetActive (false);
   }
}
```

Objet Eglise (projet2):

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class egliobject : MonoBehaviour
{
   public void ActiveEgli() {
   gameObject.SetActive (true);
   }

   public void DesactiveEgli() {
   gameObject.SetActive (false);
   }
}
```

Objet Bâtiments (projet1-2):

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class Batiobject : MonoBehaviour
{
   public void ActiveBati() {
   gameObject.SetActive (true);
   }

   public void DesactiveBati() {
   gameObject.SetActive (false);
   }
}
```

Annexe 9
Préconisations pour la création d'une vidéo de présentation

Avec Rhinoceros :

Tout d'abord il faut créer une ligne de vision pour la caméra et une pour la direction de l'objectif. Puis choisir l'outil « Définir une animation de cheminement » et sélectionner les 2 lignes dans l'ordre précédemment établi. Vient ensuite le choix du nombre d'images totales à produire, du format d'image souhaité, le moteur de rendu, le type de vue (perspective, dessus, face, droite), la méthode de rendu (filaire, semitransparent, moderendu, …) et enfin du nom. Des recommandations vont être présentées afin de choisir ces paramètres au mieux en fonction des besoins finaux.

Pour produire les images le logiciel calcule la distance totale du cheminement et la divise par le nombre d'images choisi déterminant ainsi le pas d'échantionnage adéquat. C'est pourquoi le paramètre du nombre de photos est à déterminer en fonction de la distance parcourue, de la vitesse de parcours et du nombre d'images par seconde souhaité (au maximum 33,33/s).

Il faut alors définir une vitesse de déplacement de la caméra pour obtenir une impression correcte et une durée de parcours raisonnable. Cette vitesse est liée à l'environnement que l'on souhaite présenter (zone étendue ou peu), à la hauteur au-dessus du sol à laquelle on aspire à positionner la caméra et à la distance de celle-ci par rapport aux objets visibles. Dans mon cas, le parcours choisi fait un total de 1,146km, les bâtiments sont à moins de 300m et la caméra est positionnée à environ 10m au-dessus du sol. Une vitesse d'environ 50km/h a alors paru être un bon compromis (ni une impression de mouvements brusques, ni une vidéo d'une durée trop longue (1min24s)).

L'étape suivant consiste à définir un temps d'affichage par image afin d'obtenir une scène parfaitement fluide. Des essais pour des temps allant de 0,1s/image au minimum à 0,03s/image ont été effectués:

- Le résultat commence à être satisfaisant à partir de 0,06s/image, mais il convient tout de même d'éviter les mouvements brusques de la caméra sans quoi certaines constructions apparaissent saccadées.

- Puis à 0,04s/image, la scène devient plus fluide bien que des imperfections subsistent. Il y a alors 25images/s dans ce cas, ce qui correspond à la cadence utilisée dans les films actuels.

- Comme l'œil est capable de percevoir plus d'images par seconde, la cadence maximale a été testée avec 0,03s/image soit environ 33,3images/s. L'amélioration est visible et le rendu ne présente presque plus scène saccadée au niveau des édifices.

Lors de la définition de l'animation dans Rhinocéros, le logiciel propose deux formats d'image possibles : soit le JPEG, soit le PNG. La première remarque est que le dossier contenant les images en PNG est plus de deux fois plus volumineux que celui où les images sont en JPEG (1,02Go contre 0,49Go pour le test à 0,05image/s). De plus les images en PNG sont visiblement plus nettes que celles en JPEG. Pourtant après transformation en vidéo la compression des images effectuée par le logiciel Windows Movie Maker gomme cet écart et le volume de la vidéo est presque identique dans les deux cas. Concernant la qualité de ces deux vidéos, aucune différence n'est visible, elles semblent être identiques. Ainsi l'utilisation du format PNG n'est pas à privilégier avec le couple Rhinocéros/ Windows Movie Maker puisqu'il nécessite un espace de stockage plus important.

Par ailleurs, le type de vue « Perspective » doit être choisi pour obtenir un résultat. Quant à la méthode de rendu, celle-ci dépend de ce qu'il doit être représenté mais la plupart du temps c'est un rendu réaliste qui est souhaité (modèle texturé sans transparence), le mode « moderendu » est alors à sélectionner.

Windows Movie Maker :

Au moment d'enregistrer la vidéo, deux formats vidéo sont possibles, le WMV (format créé par Microsoft et propriété de *Windows Media Video*) et le MP4 (ou MPEG-4, norme de codage spécifiée par Moving Picture Experts Group). Pour cet essai j'ai conservé la configuration de 0.05s/image avec des images JPEG. La seule différence est le format d'enregistrement.

Tout d'abord le fichier au format MP4 est plus de deux fois moins volumineux avec 30,0Mo contre 75,1Mo dans la configuration test. En termes de rendu la différence n'est pas visible que ce soit sur un écran d'ordinateur ou avec un vidéoprojecteur. De ce fait, on peut choisir indifféremment l'un ou l'autre des formats, la différence en absolue n'étant que de 35Mo pour une séquence de cette durée. Pour une vidéo plus longue l'atout de la taille du fichier jouera en la faveur du format MP4.

Pour conclure, la détermination du nombre d'images à produire passe par le choix de la vitesse de parcours (fonction de l'environnement) et de la cadence des images dans la vidéo. À partir de 0.06s/image le résultat est exploitable et ne présente pas de grande scène saccadée. Seuls les bâtiments se déplaçant rapidement dans la scène présentent des troubles. La diminution de ce temps apporte un mieux à chaque fois avec un très bon résultat débutant à 0.04image/s, toutefois une attention doit être portée à cette diminution puisqu'elle engendre une augmentation du nombre d'images à exploiter. Par ailleurs, le format JPEG sera privilégié sous Rhinocéros, quant au format vidéo, le MP4 à l'avantage d'un volume moindre.

Ces quelques recommandations permettent l'obtention rapide de vidéos qui puissent être visionnées lors de présentation public sans dépenses supplémentaires, que ce soit en raison de l'achat d'un logiciel spécifique ou du passage par un prestataire extérieur.

Annexe 10

Script mis place pour gérer les mouvements de la caméra dans la maquette 3D.

Script positionné sur l'objet caméra d'Unity :

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class mouvementbis : MonoBehaviour {

    float posX;
    float posZ;
    float c;
    float C;
    float c2;
    float C2;
    float elevationMin;

    Vector3 startingPosition;
    Vector3 currentPositionPlani;

    void Start () {
        startingPosition = gameObject.transform.position;
        elevationMin = 0.15f;
    }

    Vector3 VectX = new Vector3 (1,0,0);
    Vector3 VectY = new Vector3 (0,1,0);
    Vector3 VectZ = new Vector3 (0,0,1);

    void Update () {

        c=transform.eulerAngles.y; // c'est l'angle de la caméra par rapport à
        l'axe vertical
        C = c * Mathf.PI / 180;
        c2 = c + 90;
        C2= c2 * Mathf.PI / 180;

        posX= gameObject.transform.position.x;
        posZ= gameObject.transform.position.z;
        Vector3 currentPositionPlani = new Vector3 (posX,elevationMin,posZ);
        Vector3 VectDir = new Vector3 (Mathf.Sin(C),0,Mathf.Cos(C));
        Vector3 VectOrth = new Vector3 (Mathf.Sin(C2),0,Mathf.Cos(C2));

        if(Input.GetKey(KeyCode.Z)||Input.GetKey(KeyCode.UpArrow)){ //action en cas
        d'appui sur la touche Z du clavier ou la flèche haute
            transform.Translate(VectDir*Time.deltaTime, Space.World);
        }

        if(Input.GetKey(KeyCode.S)||Input.GetKey(KeyCode.DownArrow)){
            transform.Translate(-1*VectDir*Time.deltaTime, Space.World);
        }

        if(Input.GetKey(KeyCode.Q)||Input.GetKey(KeyCode.LeftArrow)){
            transform.Translate(-1* VectOrth*Time.deltaTime, Space.World);
        }

        if(Input.GetKey(KeyCode.D)||Input.GetKey(KeyCode.RightArrow)){
            transform.Translate(VectOrth*Time.deltaTime, Space.World);
        }
```

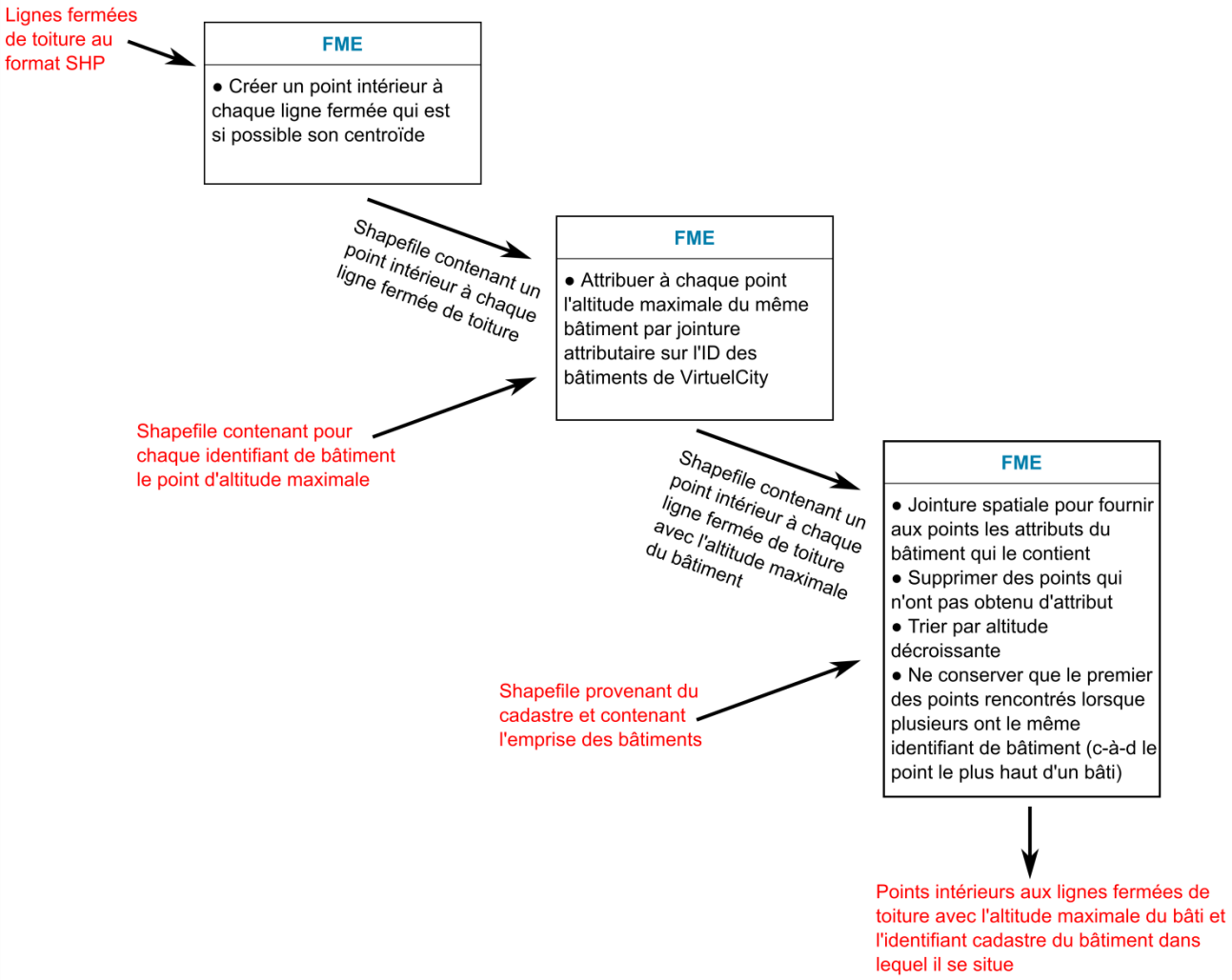
```
        if(Input.GetAxis("Mouse X")<0 && Input.GetMouseButton(2)){
            transform.Rotate(-1*VectY,Space.World);
        }

        if(Input.GetAxis("Mouse X")>0 && Input.GetMouseButton(2)){
            transform.Rotate(VectY,Space.World);
        }

        if(Input.GetAxis("Mouse Y")<0 && Input.GetMouseButton(2)){
            transform.Rotate(VectX,Space.Self);
        }

        if(Input.GetAxis("Mouse Y")>0 && Input.GetMouseButton(2)){
            transform.Rotate(-1*VectX,Space.Self);
        }

        if (Input.GetAxis("Mouse ScrollWheel") < 0){
            transform.Translate(0,0,-1);
        }

        if (Input.GetAxis("Mouse ScrollWheel") > 0){
            transform.Translate(0,0,1);
        }

        if (gameObject.transform.position.y < 0.15){
            gameObject.transform.position = currentPositionPlani;
        }
    }


    public void PositionIni() {
        gameObject.transform.position = startingPosition;
        gameObject.transform.rotation= Quaternion.Euler(70, 0, 0);
    }
}
```

Annexe 11
Solutions pour la mise à jour des objets du référentiel 3D

	Spécifications	Exhaustivité	Coût
Utiliser les mises à jour de la BDTOPO	Précisions altimétriques et planimétriques ≤ 2,5 m ; Différence ≤ 10 m entre deux bâtiments adjacents non considérée; seulement deux attributs d'altitude	Tous les bâtiments ≥ 50m² et ceux entre 20 et 50m² si ils sont isolés	Temps de travail des agents pour la totalité : limité
Récupérer les modèles 3D de projets	Différentes selon les projets	Seuls ceux représentés en 3D, soit seulement quelques grands projets	Temps de travail des agents par bâtiment : limité
Saisir les données de permis de construire pour les bâtiments spécifiques	Précision de quelques centimètres si les plans sont effectivement respectés ; Bord de toiture présent	À déterminer selon les attentes	Temps de travail des agents par bâtiment : moyen
Levés topographiques sur le terrain des points intéressants	Précision de quelques centimètres ; Possibilité d'acquérir tout ce qui est visible	À déterminer selon les attentes	Temps de travail des agents par bâtiment : important
Levés photographiques terrestres des bâtiments	Précision d'une dizaine de centimètres ; Possibilité d'acquérir tout ce qui est visible. Données volumineuses qu'il faut ensuite réduire	À déterminer selon les attentes	Temps de travail des agents par bâtiment : très important
Réaliser de nouvelles prises de vues aériennes	Peuvent être identiques à la modélisation effectuée et donc homogénéités sur la zone de 89km²	Peut être identique à celle de la zone de modélisation	Tarif par bâtiment élevé s'il y en a peu

Annexe 12
Jointure altitudes maximales/emprises par la méthode des points intérieurs

Schéma qui présente la solution utilisée pour lier une altitude maximale de bâtiment acquise à partir des données de VirtuelCity à l'emprise correspondante dans les données du cadastre dans le cas où les identifiants des constructions ne correspondent pas : méthode n°2.



Annexe 13

Base de données mise en place pour le calcul des hauteurs

Base de données

Table centrale dans laquelle toutes les altitudes déterminées sont affectées ainsi que les hauteurs correspondantes

Bati_MNT_altVECTUEL	
gid	Clé primaire
ID	Identifiant cadastrale
the_geom	Géométrie des parcelles du cadastrale
ALT_MNT	Altitude du MNT au pas de 1m
ID_BATI_VECTUEL	Identifiant des bâtiments de VirtuelCity
ALT_VECTUEL	Altitude obtenue avec les données de VirtuelCity
HAUTEUR	Hauteur déterminée pour la cartographie
ALT_BDTOPO	Altitude obtenue avec les données de la BDTOPO
ALT_MNT_2m	Altitude du MNT au pas de 2m
ALT_LIDAR	Altitude obtenue avec les données du LIDAR V1
HAUTEUR_LIDAR	Hauteur obtenue avec le LIDAR V1
ALT_LIDAR_V2	Altitude obtenue avec les données du LIDAR V2
HAUTEUR_LIDAR_V2	Hauteur obtenue avec le LIDAR V2
ALT_VectBordToit	Altitude obtenue avec les données de VituelCity pour les seules lignes de bord de toiture
HAUTEUR_VectBordToit	Hauteur obtenue avec ALT_VectBordToit

Tables créées et utilisées pour l'import des données dans le cas où la jointure avec la table centrale n'a pas été réalisée avec FME

Zone... (12 différentes)	
gid	Clé primaire
Z	Altitude du point déterminée par la méthode LIDAR V1
the_geom	Géométrie du point d'altitude maximale par emprise cadastrale

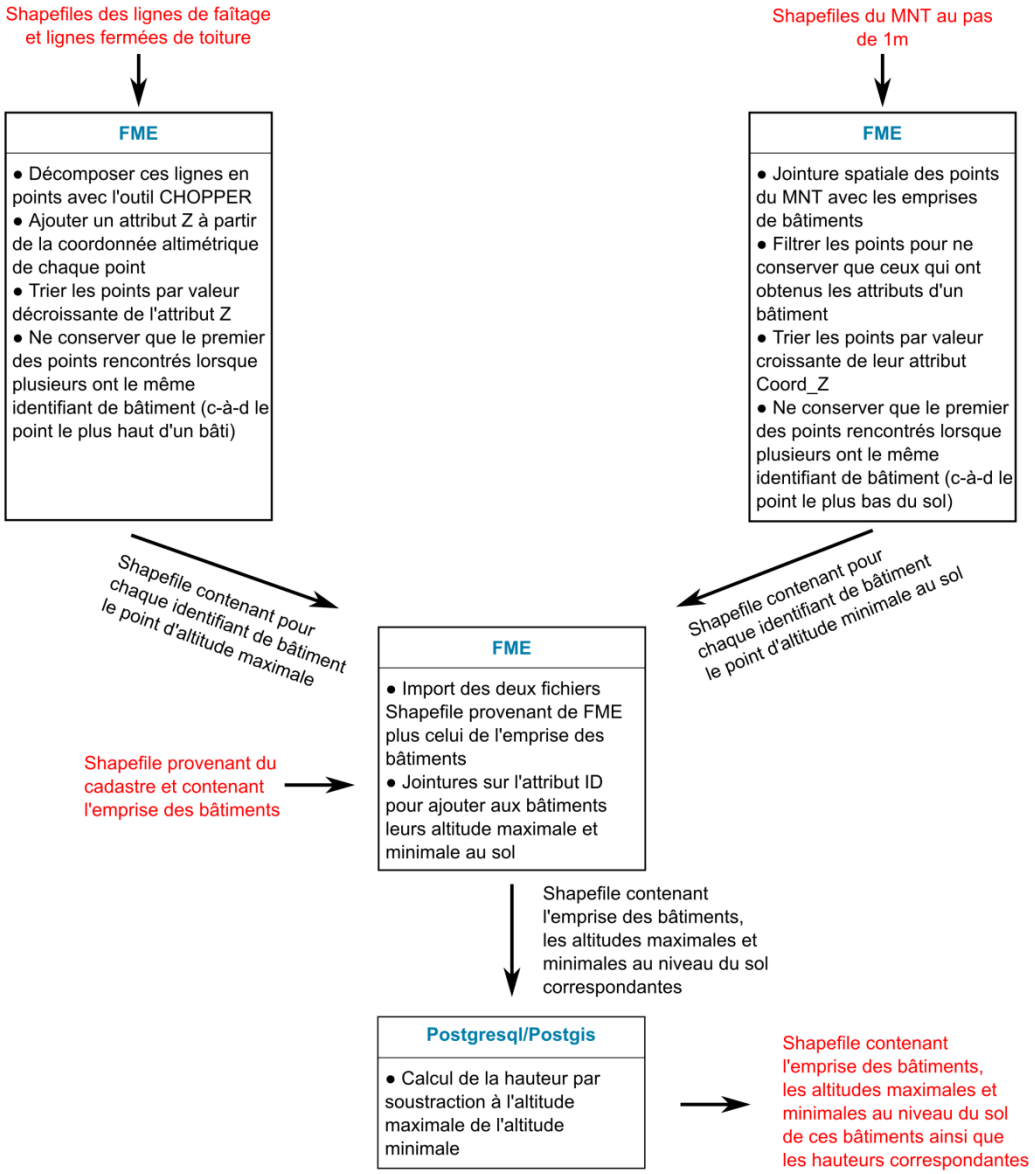
Batimenti (i= 1:3)	
gid	Clé primaire
Z	Altitude du point déterminée par la méthode LIDAR V2
the_geom	Géométrie du point d'altitude maximale par emprise cadastrale

PtsMaxBordToit	
gid	Clé primaire
ID_BATI_VE	Identifiant des bâtiments de VirtuelCity
ALT_VECTUE	Altitude obtenue avec les données de VituelCity pour les seules lignes de bord de toiture
the_geom	Géométrie du point des lignes de bord de toiture le plus haut par identifiant des bâtiments

fdp_bdt_bati (données de la BDTOPO)	
ID	Clé primaire
PREC_PLANI	Précision planimétrique sous forme de code numérique
PREC_ALTI	Précision altimétrique sous forme de code numérique
HAUTEUR	Hauteur arrondie au mètre
Z_MIN	Attribut d'altitude minimale
Z_MAX	Attribut d'altitude maximale
the_geom	Emprise des groupements de construction

Annexe 14
Jonction des emprises cadastrales avec les hauteurs maximales et minimales correspondantes

Schéma du cheminement utilisé pour affecter aux données cadastrales les altitudes maximale et minimale des bâtiments ainsi que la hauteur correspondante dans le cas où l'identifiant des constructions est identique dans les deux sources (VirtuelCity et cadastre).



Annexe 15
Requêtes SQL employées pour déterminer le champ « HAUTEUR »

Méthode n°1 : Première étape, la création d'une vue contenant la différence entre l'altitude du point le plus haut et celle du MNT ainsi que l'identifiant clé primaire de la table « gid ».

```
CREATE OR REPLACE VIEW "3d"."bati_hauteurVectuel" AS SELECT gid,"ALT_VECTUE"-"ALT_MNT"
as h1
FROM "3d"."Bati_MNT_altVECTUEL" WHERE "ALT_VECTUE"!= '0' AND "ALT_MNT" != '0';
```

Seconde étape, la mise à jour du champ HAUTEUR de la table avec comme lien l'identifiant « gid ».

```
UPDATE "Bati_MNT_altVECTUEL"
SET "HAUTEUR" = (SELECT h1 FROM "bati_hauteurVectuel"
WHERE "Bati_MNT_altVECTUEL".gid="bati_hauteurVectuel".gid);
```

Méthode n°2 : La table *"bati_cadastre_ttesAlti_sansMNTnull"* était la première table de centralisation des résultats, de structure identique à celle de *"Bati_MNT_altVECTUEL"*. Elle ne possédait toutefois que les altitudes déterminées à partir des données de VirtuelCity et du MNT au pas de 1m ainsi que les hauteurs correspondantes.
Deux vues sont cette fois nécessaires contenant chacune la différence entre l'altitude du point le plus haut et celle du MNT selon chacune des deux méthodes ainsi que l'identifiant clé primaire de la table « fid ».

```
CREATE OR REPLACE VIEW sig."bati_cadastre_hmm_id" AS SELECT fid, "ALT"-"COORD_Z" as h1
FROM "3d"."bati_cadastre_ttesAlti_sansMNTnull" WHERE "ALT"!= '0';

CREATE OR REPLACE VIEW sig."bati_cadastre_h_centro" AS SELECT fid,"ALT_CENTRO"-"COORD_Z"
as h2
FROM "3d"."bati_cadastre_ttesAlti_sansMNTnull" WHERE "ALT"= '0' AND "ALT_CENTRO"!='0';
```

Où ALT est l'altitude maximale déterminée par identifiant identique, ALT_CENTRO celle déterminée au moyen des points intérieurs et COORD_Z l'altitude minimale des points du sol.

Remarque : Dans cette seconde étape, la clause *where* est employée deux fois. La première clause *where* permet de ne sélectionner que la différence correspondant à la ligne en question alors que la seconde permet de ne mettre à jour que les lignes devant être modifiées. En effet sans cette deuxième condition les valeurs des champs déjà renseignés seraient remplacées soit par un champ vide s'ils ne sont pas traités dans la requête en cours ou par la valeur nouvellement déterminée s'ils sont concernés lors de la deuxième requête. Par ailleurs, afin de privilégier le premier mode de calcul, l'ordre d'exécution des requêtes ci-dessous est à maintenir.

```
UPDATE "bati_cadastre_ttesAlti_sansMNTnull"
SET "HAUTEUR" = (SELECT h1 FROM "bati_cadastre_hmm_id"
WHERE "bati_cadastre_ttesAlti_sansMNTnull".fid="bati_cadastre_hmm_id".fid)
WHERE "HAUTEUR"= '0';

UPDATE "bati_cadastre_ttesAlti_sansMNTnull"
SET "HAUTEUR" = (SELECT h2 FROM "bati_cadastre_h_centro"
WHERE "bati_cadastre_ttesAlti_sansMNTnull".fid="bati_cadastre_h_centro".fid)
WHERE "HAUTEUR"= '0';
```

Annexe 16
Requête SQL pour l'ajout des hauteurs évaluées à partir de la BDTOPO

Pour ajouter les hauteurs appréciées à partir de la BDTOPO, une vue a été conçue pour chaque couple (BDTOPO/MNT 1m, BDTOPO/MNT 2m). Les hauteurs ont été mises à jour en privilégiant celles déjà définies avec les données de VirtuelCity puis celles avec le MNT au pas de 1m (ordre d'exécution des requêtes de mise à jour du champ HAUTEUR ci-dessous à respecter).

Pour le couple BDTOPO/MNT 1m :

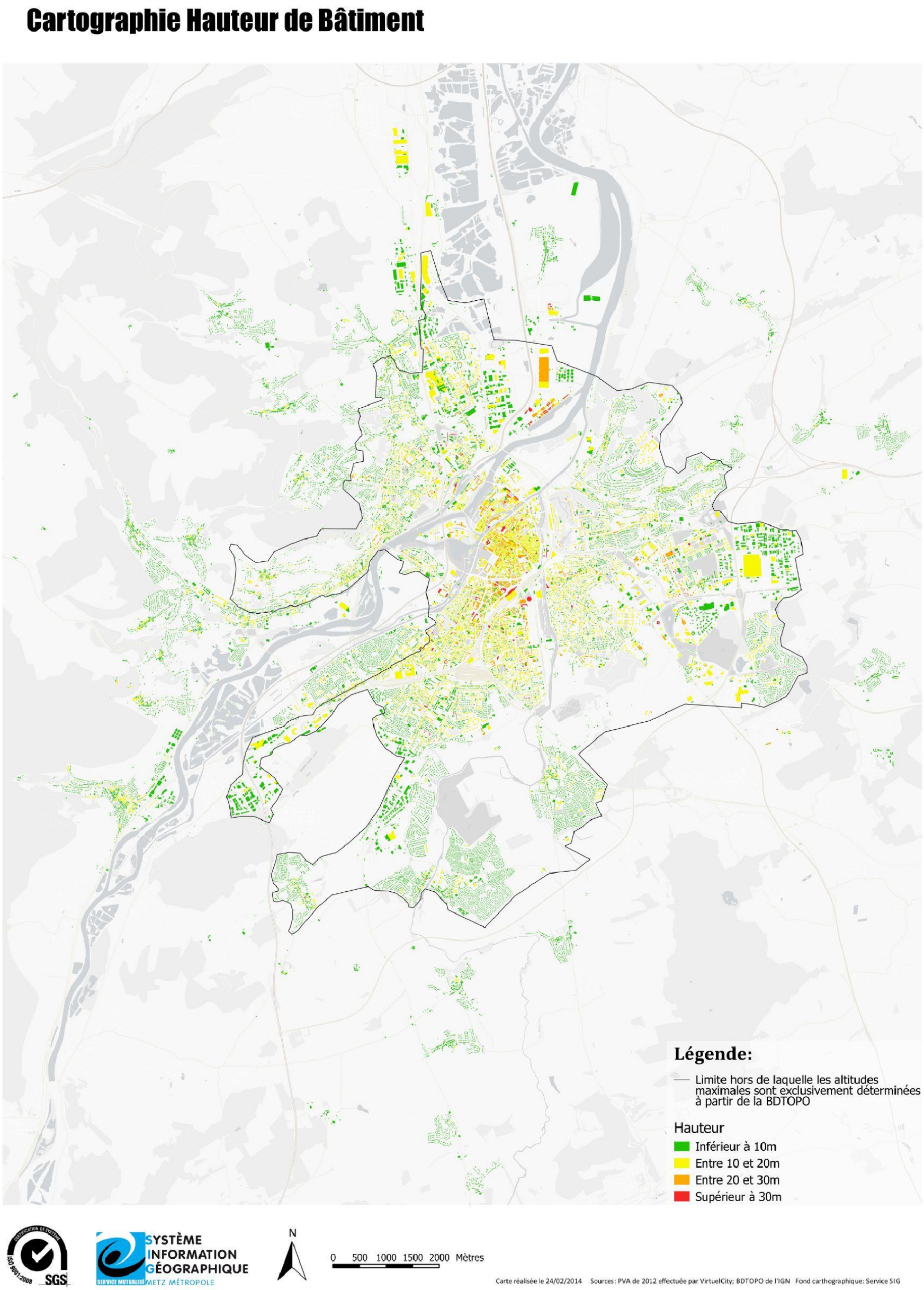
```
CREATE OR REPLACE VIEW "3d"."bati_hauteurBDTOPO" AS SELECT gid,"ALT_BDTOPO"-
"ALT_MNT" as h2
FROM "3d"."Bati_MNT_altVECTUEL" WHERE "ALT_BDTOPO"!= '0'AND "ALT_MNT" != '0';

UPDATE "Bati_MNT_altVECTUEL"
SET "HAUTEUR" = (SELECT h2 FROM "bati_hauteurBDTOPO"
WHERE "Bati_MNT_altVECTUEL".gid="bati_hauteurBDTOPO".gid)
FROM "bati_hauteurBDTOPO"
WHERE "HAUTEUR"= '0';
```

Puis pour le couple BDTOPO/MNT 2m :

```
CREATE OR REPLACE VIEW "3d"."bati_cadastre_hauteurMNT2" AS SELECT gid,"ALT_BDTOPO"-
"ALT_MNT_2m" as h3
FROM "3d"."Bati_MNT_altVECTUEL" WHERE "ALT_BDTOPO"!= '0'AND "ALT_MNT_2m" != '0';

UPDATE "Bati_MNT_altVECTUEL"
SET "HAUTEUR" = (SELECT h3 FROM "bati_cadastre_hauteurMNT2"
WHERE "Bati_MNT_altVECTUEL".gid="bati_cadastre_hauteurMNT2".gid)
FROM "bati_cadastre_hauteurMNT2"
WHERE "HAUTEUR"= '0';
```

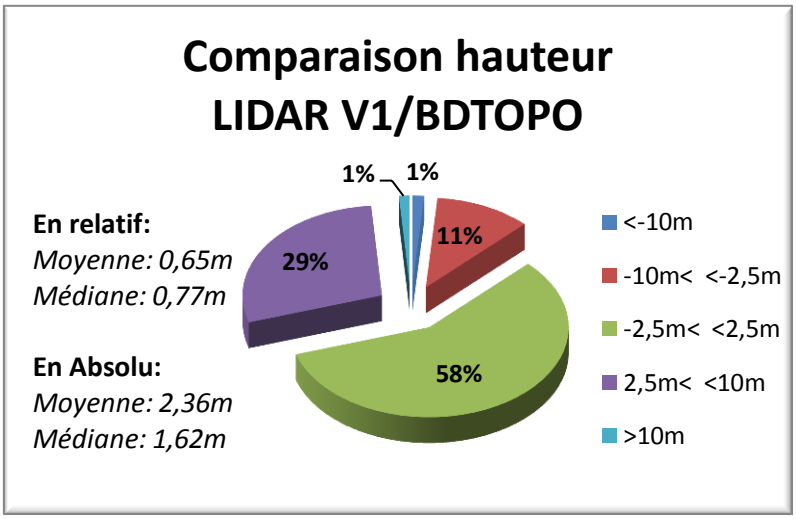
Annexe 17

Carte de la hauteur des bâtiments réalisée à partir des résultats obtenus



Annexe 18
Comparaison entre les hauteurs obtenues par LIDAR et celles acquises à partir de la BDTOPO

Analyse de la comparaison LIDAR/BDTOPO: (h_{LIDAR}-h_{BDTOPO})

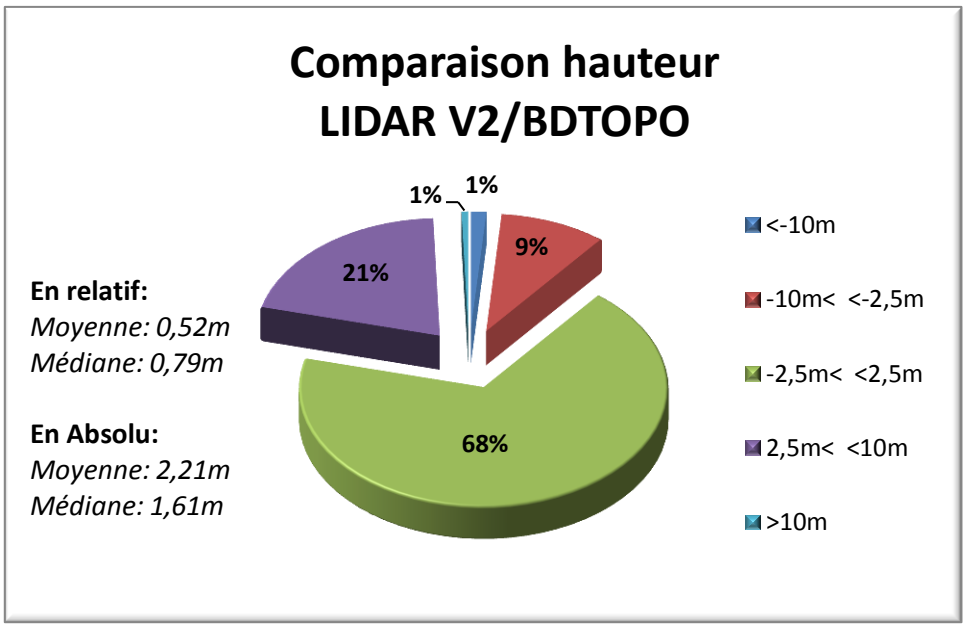


On peut voir que la majorité des points se situent dans la précision globalement prévisible de la BDTOPO de plus au moins 2,5 m et que comme le LIDAR considère des points plus hauts que la gouttière qui est référence pour la BDTOPO, on se retrouve avec 29% de points compris entre 2,5 et 10 m. La moyenne ainsi que la médiane toutes deux proches l'une de l'autre font ressortir une différence de hauteur en majorité positive ce qui est cohérent avec le point précédent. En observant la médiane des valeurs absolues des différences, on observe que la majorité des écarts sont inférieur à 1,6 m. Cela est cohérent au vu de la précision et de la différence de l'emplacement de référence pour obtenir l'altitude maximale.
Comme la BDTOPO donne parfois une même altitude pour plusieurs bâtiments adjacents de hauteur en réalité différentes, des constructions plus petites sont considérées comme plus grandes dans la BDTOPO d'où les 11% entre -2,5 et -10 m.
Pour les cas extrêmes ce sont majoritairement :

- Le problème de bâti adjacent qui se retrouve pour les différences inférieures à -10m
- Dans le sens inverse (supérieure à 10m) c'est l'altitude Lidar de la construction qui est trop importante car un point du LIDAR d'un autre bâtiment plus haut s'est trouvé dans son l'emprise.

Analyse de la comparaison LIDAR V2/BDTOPO : ($h_{LIDAR\ V2}$-h_{BDTOPO})

C'est à présent la deuxième méthode de classification du LIDAR que l'on compare aux résultats établis à partir de la BDTOPO.



On remarque une augmentation de 10% des différences comprises entre -2,5 et 2,5m liée notamment à une diminution de 8% des grands écarts (supérieures à 2,5m). Nous pourrions donc penser qu'une amélioration se dégage. Mais comme la BDTOPO n'est pas précise et engendre également des erreurs, aucune conclusion ne peut être tirée. De plus les différentes médianes n'ont presque pas changées (2cm au plus) et les moyennes ont seulement diminuées de 13 à 15cm.
D'autre part, plusieurs des écarts les plus importants restent imputables au LIDAR en raison de bâtiments adjacents d'hauteurs différentes. Il faut donc observer les différences avec les données de VirtuelCity pour être en mesure de fournir des résultats probants.

Annexe 19
L'avenir du BIM dans l'aménagement

« Dans les faits, le BIM est à la fois un logiciel, une base de données, un processus collaboratif voire une méthode de management » (Beideler, 2014). « Le BIM est un ensemble structuré d'informations sur un bâtiment qui décrit les objets le composant, leurs caractéristiques et les relations entre ces objets» (Archiwizard, 2014). Le BIM ne possède pas encore de définition exacte bien que de nombreux acteurs de la construction aient essayé d'en poser les bases. La description que l'on va en faire n'est donc qu'une tentative de détermination. Le BIM est donc une méthode de collaboration entre les divers protagonistes du bâtiment combiné à une représentation numérique détaillant tous les éléments d'une construction avec leurs caractéristiques (que ce soit par exemple leurs matériaux, la quantité de ces matériaux ou les relations entre les différents éléments).

Pour être utilisé ce nouvel outil doit s'appuyer sur un logiciel qui permet d'insérer des objets avec leurs attributs, de les conserver sous cette forme d'objet et de partager les informations entre les multiples acteurs du bâtiment. Dans un premier point sera exposé l'état actuel du BIM dans le monde puis en France et dans un second les objectifs à instaurer ainsi que la place des collectivités territoriale dans cette démarche.

La situation actuelle

Dans le monde, on comptabilise aujourd'hui neuf états dans lesquels le BIM est rendu obligatoire pour au moins une partie des constructions parmi lesquels cinq sont des pays européens (Cellier, 2014). Au minimum, l'obligation de l'emploi du BIM porte sur les grands bâtiments publics de certaines instances d'État, avec pour certains d'entre eux l'obligation prochaine de son utilisation pour tout marché public. La Grande-Bretagne rend par exemple obligatoire le BIM pour tous les projets publics à partir du 1er janvier 2016. De plus, trois niveaux de BIM existent ordinairement, dont le niveau 2 est le plus utilisé (c'est notamment celui de l'obligation en Grande-Bretagne). Ils sont présentés dans le tableau synthétique ci-dessous (Nicolas, 2014):

	Spécifications	Personnes généralement concernées
BIM niveau 1	Réalisation et utilisation d'une maquette numérique par un ou plusieurs acteurs sans échange entre les modèles	Architectes
BIM niveau 2	Travail collaboratif entre les acteurs avec des modèles liés ou mis en commun	Architectes + tous les autres partenaires
BIM niveau 3	Modèle unique et partagé par tous les acteurs et qui peuvent intervenir en même temps sur la maquette	Architectes + tous les autres partenaires

Présentation des trois niveaux de BIM existants

L'Europe a quant à elle déjà autorisé les pays membres à encourager le BIM en offrant la possibilité de le rendre obligatoire dans les marchés publics : « Pour les marchés publics de travaux et les concours, les États membres peuvent exiger l'utilisation d'outils électroniques particuliers tels que des outils de modélisation électronique des données du bâtiment ou des outils similaires. » (Directives Européennes[1], 2014). Néanmoins, elle précise que pour mettre en place cette mesure, les États membres doivent fournir un accès gratuit sans restriction aux outils nécessaires tant qu'ils ne sont pas communément disponibles, c'est-à-dire tant que cela « nécessite l'utilisation d'un équipement de bureau spécialisé dont les autorités contractantes ne disposent pas communément » (Directives Européennes[2], 2014). En France, pour l'instant, aucune mesure ne visant à imposer l'usage du BIM n'a été adoptée. Mais des projets de loi sont à l'étude et pourraient venir à modifier cela.

Les enjeux

C'est tout d'abord un enjeu économique national puisque l'utilisation du BIM pourrait à terme être imposée par de nombreux pays, voire par l'Union Européenne d'ici quelques années. Il faudra alors que les entreprises du bâtiment soient opérationnelles pour pouvoir prétendre à des marchés publics soumis à cette obligation.

D'autre part, le challenge est de parvenir à structurer et définir un procédé « BIM ». Celui-ci doit permettre d'éviter les défauts dans les constructions qui engendrent un coût important à l'heure actuelle. Il doit aussi être capable d'offrir une planification de l'exécution des tâches plus performante visant à réduire les délais d'édifications. Aujourd'hui des projets voient le jour pour concevoir des outils libres qui permettront de parvenir à ces fins, parmi lesquels le projet de recherche Franco-Allemand Vitruv21. L'objectif affiché de ce dernier est de « développer une méthode pour la planification interactive du processus de réalisation d'un bâtiment » (Vitruv21, 2014). Dans les faits, ces membres développent un logiciel « Compass » qui après import des modèles constitué sur un logiciel CAO/DAO, doit permettre d'organiser les différentes étapes de la construction en pouvant visionner pour chaque phase : les engins de chantier nécessaires, les éléments à mettre en place avec toutes leurs caractéristiques, ainsi que les règlementations à respecter. Toutefois, le projet n'est pas encore abouti. Lors d'un exposé réalisé par les acteurs du projet à des professionnels du bâtiment, de nombreux points d'amélioration ont été souhaités. Cet exemple confirme que l'évolution vers une nouvelle organisation du mode de la construction tourné vers l'usage de la 3D est en cours, mais qu'elle n'est pas achevée.

Interface logiciel Compass, source Vitruv21

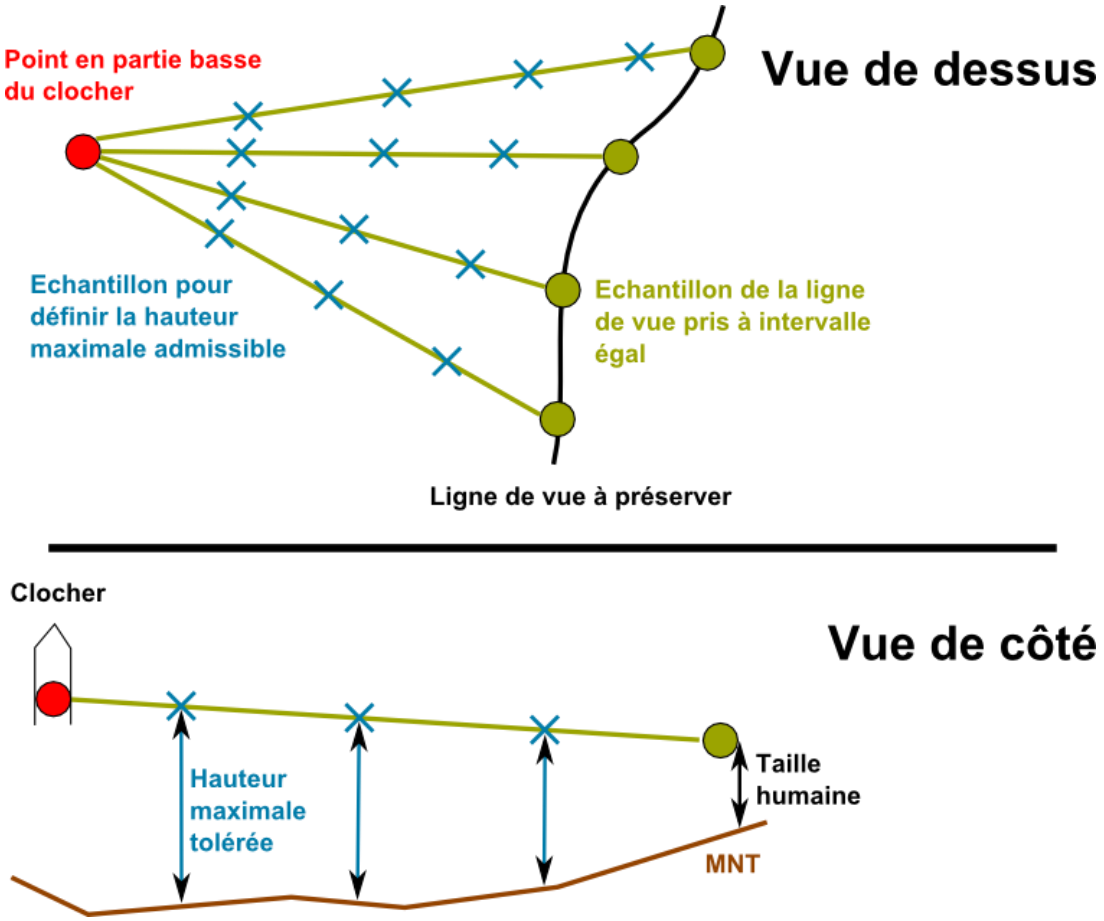
Les constatations établies mettent en avant le rôle des entreprises privées dans le processus BIM, mais celui des collectivités locales n'est pas immédiatement perceptible. Pourtant, dans tous les pays qui ont fait de la maquette numérique une obligation, ce sont les travaux de ces collectivités qui sont visés pour initier son emploi. Des compétences doivent donc être acquises pour pouvoir gérer ces données. Les services SIG seront alors probablement sollicités. Par ailleurs, la question de l'utilisation de cette source d'informations vient à se poser. En effet, les maquettes 3D pourraient être renseignées à partir de ces modèles. Cependant, le détail important dans des modélisations ne peut être inclus directement. Il faudrait donc les alléger pour ne conserver que ce qui s'adresse aux collectivités. C'est-à-dire ne préserver un niveau de détail pour la géométrie que de type LOD2 ou tout au plus LOD3. En définitif, si la généralisation de ces maquettes numériques du bâtiment a lieu et avec une précision géométrique minimale imposée, elle pourrait devenir la source principale pour la mise à jour des référentiels 3D.

Outre les marchés public, le BIM a vocation à s'étendre au maître d'ouvrage privé qui pourront tout aussi bien bénéficier de cet outil pour leurs habitations.

Annexe 20

Méthode envisagée pour définir la hauteur maximale des bâtiments admise pour conserver une ligne de vue

La proposition consiste par commencer à produire un échantillonnage des lignes de vue à préserver (cercle vert dans l'image ci-dessous) et à relier ces points à l'élément qui doit rester visible, un clocher pour cet exemple. Ensuite il faut définir à un pas régulier (écartement entre les croix bleues), la hauteur maximale tolérée, représentée par les traits bleus de l'illustration.
Pour que le résultat ne comporte pas de grande imprécision, il faut que l'échantillonnage réalisé soit dense sur la ligne de vue ainsi que sur les droites entre le clocher et ces points de vue. Par ailleurs, la méthode pour concevoir cette chaîne de traitement avec les outils du service, si tant est qu'elle existe, n'a pas encore était définie. Le service devra donc poursuivre les réflexions sur cette méthode s'il souhaite la mettre en œuvre.



Potentialités d'un socle de données 3D pour une grande collectivité : le cas de Metz Métropole.

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2014

RESUME

L'usage de la 3D est en plein essor dans notre société actuelle. Malgré tout, il est encore difficile aujourd'hui pour une collectivité territoriale de gérer et d'exploiter les éléments tridimensionnels dont elles disposent à l'échelle de la ville. Le but de cette étude, menée au sein de Metz Métropole, est de développer des solutions pour surpasser ces difficultés.

Le TFE a permis de mettre en place des chaines de traitement pour les opérations courantes liées aux données 3D, de composer un premier produit reposant sur le cumul de plusieurs de ces données et d'offrir des perspectives pour l'élaboration d'une base de données 3D. Une réflexion sur l'avenir de ce type d'informations dans les collectivités locales a aussi été proposée. Elle s'appuie sur les partages actuels entre les divers acteurs de la 3D.

Par ailleurs, ces données ont vocation à se trouver dans un SIG 3D. Or, à ce jour, les tests effectués ne permettent pas sa mise en œuvre, mais certaines pistes étudiées sont prometteuses et méritent d'être suivies.

Mots clés : 3D, collectivité territoriale, SIG, maquette numérique.

ABSTRACT

The use of 3D is booming in today's society. Nevertheless, it's still difficult today for a local authority to manage and operate the three-dimensional information available to them at city level. The purpose of this study led within Metz Métropole is to develop solutions to surpass these difficulties.

This graduation projects allowed to set up a processing chains for common operations related to 3D data, to compose a first product based on the combination of several of these data and to provide opportunities for the development of a 3D database. A reflection on the future of this type of information in local communities has also been proposed. It's based on current sharing between the diverse actors in 3D.

Moreover, these data are intended to be in 3D GIS. However, to date, the tests performed do not allow its implementation, but some tracks studied are promising and should be followed.

Key words : 3D, local authorities, GIS, digital mock-up.