



**HAL**  
open science

## Démarche d'industrialisation et de rationalisation, dans le cadre de la mise en oeuvre de logiciels et outillages de levés TOPO, DAO et SIG à l'ESID de Brest

Clément Huon

### ► To cite this version:

Clément Huon. Démarche d'industrialisation et de rationalisation, dans le cadre de la mise en oeuvre de logiciels et outillages de levés TOPO, DAO et SIG à l'ESID de Brest. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2015. dumas-01338154

**HAL Id: dumas-01338154**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01338154>**

Submitted on 28 Jun 2016

**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**

**MEMOIRE**

**présenté en vue d'obtenir**

**le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM**

**SPECIALITE : Géomètre Topographe**

**par**

**Clément HUON**

---

Démarche d'industrialisation et de rationalisation, dans le cadre de la mise en œuvre de logiciels et outillages de levés TOPO, DAO et SIG à l'ESID de Brest

**Soutenu le 9 Juillet 2015**

---

**JURY**

**PRESIDENT :**      **Monsieur José CALI**                      **Maître de conférence**

**MEMBRES :**      **Monsieur Dominique SCOLAN**                      **Maître de stage**  
                         **Monsieur Ghyslain FERRÉ**                                      **Professeur référent**  
                         **Monsieur Pierre-Yves JEANNIN**  
                         **Monsieur Stéphane OULIÉ**  
                         **Monsieur Jérémie ROBERT**



## Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Dominique SCOLAN, mon maître de stage pour son accueil et ses conseils tout au long de ce travail.

Un grand merci à Calixte ROSPARS et Thierry DONNART pour m'avoir aidé à prendre en main les logiciels et leurs conseils.

Je remercie Ghyslain FERRÉ, mon professeur référent, pour son aide lors de la phase rédactionnel de ce mémoire.

Je voudrais également adresser mes remerciements à Jérémie ICE, Florian RICHOMME et Erwan CARADEC pour l'aide qu'ils ont apporté lors des phases de terrain de cette étude et pour leur bonne humeur.

Pour leur accueil et leurs conseils je remercie toute l'équipe du service GTP de l'ESID de Brest : Pascal KERDRAON, Laurent SEGALEN, Michèle CANN, Philippe PERON, Loïc RIOU, Christelle GOURMELON

Enfin je remercie tous ceux qui m'ont soutenu lors de ce stage. Je pense particulièrement à Anne-Laure REGNARD ainsi qu'à ma famille.

## Liste des abréviations

- BIM:** Building Information Modeling
- BM :** Brest Métropole
- CAO:** Conception Assistée par Ordinateur
- DAO:** Dessin Assisté par Ordinateur
- ESID :** Etablissement du Service d'Infrastructure de la Défense
- ESRI:** Environmental Systems Research Institute
- GML:** Geography Markup Language
- GNSS:** Global Navigation Satellite System
- IFC:** Industry Foundation Classes
- IGN:** Institut National de l'Information Géographique et Forestière
- ISO :** International Organisation for Standardization
- LOD :**Level Of Detail
- MNE :** Modèle Numérique d'Élévation
- MNT :** Modèle Numérique de Terrain
- SHP :** Shape file
- SID :** Service d'Infrastructure de la Défense
- SIG :** Système d'Information Géographique
- TIN:** TriangularIrregular Networks
- XML:** eXtensibleMarkupLanguage

## Glossaire

**Orthophotographie** : image aérienne rectifiée géométriquement (correction des déformations optiques et de l'erreur de parallaxe) et égalisée radiométriquement. Chacun des points d'une telle image est superposable à une carte. Elle possède à la fois les caractéristiques d'une photographie et d'une carte.

**SIG** : outil informatique permettant d'afficher et de manipuler des données géo-référencées contenant des informations alphanumériques.

**Requête** : ligne de code qui permet d'interroger une base de données

**Reader** : Objet FME data interoperability symbolisant la donnée lu en entrée

**Writer** : Objet FME data interoperability symbolisant la donnée créée en sortie

**Transformer** : outil FME permettant d'effectuer des transformations sur la donnée.

## Sommaire

Introduction .....	8
I Le Service d'Infrastructure de la Défense .....	9
I.1 L'ESID de Brest .....	9
I.1.1 Le patrimoine de l'ESID de Brest .....	10
I.1.2 Les outils de gestion du patrimoine de l'ESID de Brest.....	10
I.1.3 Historique des mutations technologique de l'ESID de Brest .....	11
II Contexte de l'étude.....	11
II.1 Pourquoi créer une maquette 3D .....	11
II.2 Etat de l'art : en matière de maquette 3D .....	12
II.2.1 Intercommunalité et maquette 3D .....	12
II.2.2 Les formats et standards de données 3D .....	13
II.2.2.1 Le format DGN.....	13
II.2.2.2 Le format Shape File .....	13
II.2.2.3 Le format DAE (COLLADA) .....	13
II.2.2.4 Le standard CityGML.....	13
II.2.2.5 Le format du BIM : l'ISO-IFC .....	14
II.2.2.6 Liens entre BIM et SIG 3D .....	15
II.2.3 Conclusion sur l'état de l'art .....	16
III Création de maquettes 3D à l'ESID de Brest .....	17
III.1 Modélisation du terrain .....	17
III.1.1 Modélisation du terrain à partir de semis de points.....	17
III.1.2 Modélisation du terrain à partir de MNT.....	18
III.2 Modélisation des bâtiments .....	18
III.2.1 Récupération des données de Brest Métropole.....	18
III.2.2 Emprise des bâtiments à partir des plan DAO.....	19
III.2.2.1 Conversion de plan DAO vers des données SIG .....	19
III.2.2.2 Etat de l'art en matière de conversion DAO/SIG .....	20
III.2.2.3 Réalisation d'un outil de conversion de plan .DGN en .SHP .....	20

III.2.3	Emprise des bâtiments à partir de la BD Topo .....	21
III.2.4	Création d'un volume 3D à partir d'une emprise 2D .....	22
III.2.4.1	Modélisation des bâtiments avec ArcScene .....	22
III.2.4.2	Modélisation des bâtiments avec CityEngine.....	22
III.2.4.2.1	Modélisation du volume .....	23
III.2.4.2.2	Texturation des volumes.....	25
III.2.5	Conclusion et rendu sur la création des bâtiments .....	28
III.2.6	Vérification des données créées .....	29
III.3	Modélisation des réseaux enterrés.....	31
III.4	Modélisation de mobilier urbain .....	35
III.5	Import de mesures au scanner 3D .....	36
III.5.1	Import de nuages de points dans la maquette.....	36
III.5.2	Import du nuage de points après traitement : le maillage.....	37
III.5.2.1	Maillage du nuage de points.....	37
III.5.2.2	Export/import du maillage.....	40
III.5.3	Conclusion sur l'import de mesure au scanner 3D.....	42
III.6	Intégration de projet 3D dans la maquette.....	43
IV	Exemple d'utilisation d'une maquette 3D à l'ESID de Brest.....	44
IV.1	Export et diffusion de la maquette.....	44
IV.2	Simulation .....	45
IV.2.1	Simulation d'inter-visibilité entre objets .....	45
IV.2.2	Simulation d'une inondation .....	47
V	Les résultats.....	48
V.1	Bilan de l'automatisation.....	48
V.2	Conclusion sur les logiciels .....	49
V.3	Les pistes d'amélioration.....	50
	Conclusion.....	51
	Bibliographie.....	52

## Introduction

A l'heure des réductions de personnel, la rationalisation, l'industrialisation de processus prennent tout leur sens. Il faut faire plus avec moins de personnel : une solution consiste en l'automatisation. Les mutations opérées au sein du Service d'Infrastructure de la Défense (ESID) de Brest vont dans ce sens depuis plusieurs années. Des outils comme le SIG ou une charte graphique ont donc été mis en place et permettent dans le même temps d'harmoniser les méthodes et les outils avec ceux du secteur privé.

Aujourd'hui, le service d'infrastructure du Ministère de la Défense fait face à un nouveau défi : le passage à la 3D. De nombreuses collectivités construisent une maquette en 3D de leur territoire pour des besoins de communication, d'aide à la décision. Ce besoin se fait également ressentir pour la Défense française qui gère un patrimoine public important. Cela fait pourtant bien longtemps que les cartes en 3D ont séduit : en 1807 une carte en relief de l'arsenal de Brest au 1/600 est commandée. Napoléon disait de ces plans : « Il n'y a pas de meilleure carte que ces plans en relief »<sup>1</sup>. Les capacités technologiques permettent depuis quelques années de réaliser ces maquettes 3D aux formats numériques.

L'ESID de Brest est un établissement qui se veut innovant au sein du service d'infrastructure du ministère de la Défense s'est donc investi dans cette mission : rationaliser et industrialiser les outils en vue de la construction d'une maquette 3D assurant la couverture du patrimoine dont il assure la gestion.

Des recherches vont être menées au cours de cette étude pour déterminer les possibilités de plusieurs logiciels, les interopérabilités entre différentes interfaces, les possibilités d'import depuis différentes sources de mesures, de données internes et externes. Ce travail doit permettre la production de données en 3D exploitables qui répondront aux attentes du Service d'Infrastructure de la Défense en matière de représentation, de calcul, de simulation et de diffusion.

L'objectif est donc de mettre en place des processus pour construire des maquettes en 3D à différents niveaux de détails suivant les besoins de l'utilisateur.

---

<sup>1</sup> SIG la Lettre n°134- Février 2012

# I Le Service d'Infrastructure de la Défense

Le Service d'Infrastructure de la Défense a pour rôle de soutenir et d'adapter l'infrastructure et le domaine immobilier du Ministère de la Défense. Ce service dépend du Secrétariat Général pour l'Administration (SGA) qui dépend lui-même du Ministère de la Défense.

Le Service d'Infrastructure de la Défense a 5 missions :

- Rédiger les schémas directeurs ;
- Participer à la préparation et à l'exécution des budgets infrastructures ;
- Préparer et faire exécuter les programmes de travaux ;
- Assurer le maintien en condition opérationnelle des installations et des infrastructures ;
- Gérer le domaine patrimonial attribué à la Défense et assurer la surveillance des ouvrages ;

Le SID est composé de sept Etablissement du SID (ESID) regroupés sous une Direction Centrale se trouvant à Versailles. Il dépend du Secrétariat Général pour l'Administration qui dépend lui-même du Ministère de la Défense. Les ESID sont eux même composés d'Unités de Soutien de l'Infrastructure de la Défense (USID) qui sont au nombre de 54.

Le SID compte environ 4500 collaborateurs dont 28% militaires et 72% civils.



Illustration 1 : Place du SID au sein du Ministère de la Défense

Source : Données internes à l'ESID de Brest.

## I.1 L'ESID de Brest

L'Établissement du Service d'Infrastructure de la Défense de Brest est le service qui gère le patrimoine de la Défense pour le secteur Ouest de la Bretagne. 5 USID sont rattachées à l'ESID de Brest. Ce secteur s'étend sur les départements des Côtes d'Armor (22), du Finistère (29) et du Morbihan (56). Ce sont 587 collaborateurs qui travaillent à l'ESID de Brest.

L'ESID gère le patrimoine aussi bien de la Marine Nationale que de l'Armée de Terre ou l'Armée de l'Air.

### **I.1.1 Le patrimoine de l'ESID de Brest**

L'ESID de Brest gère 164 emprises. Ce patrimoine comprend des bases, des pistes, des infrastructures portuaires, des sémaphores, des cales sèches... Ces installations représentent une surface bâtie d'environ 2.5 millions de m<sup>2</sup>.

### **I.1.2 Les outils de gestion du patrimoine de l'ESID de Brest**

Pour gérer ce patrimoine, l'ESID est dans l'obligation de mettre en place des outils adaptés à la gestion de patrimoine important. Des outils métiers sont en place à l'échelle nationale:

- G2D : Gestion Domaniale de la Défense. C'est une base de données qui permet la gestion des immeubles ;
- GTP : Gestion Technique du Patrimoine. C'est une base de données qui permet la gestion des installations ;
- SYGAP : Système de Gestion et d'Archivage de Plan. Cette base de données est basée sur la norme GestPlan qui définit le nommage des fichiers et une charte graphique ;
- GEOSID : c'est le SIG du SID (stade de projet) ;

L'ensemble du patrimoine est classé en immeubles et en composants. Le terme immeuble ne correspond pas au terme immeuble commun :

*Immeuble : bâtiment urbain*

Les immeubles au sens du SID correspondent à des immeubles au sens juridique : *biens qui ne peuvent être déplacés et dont font partie les bâtiments mais aussi leurs accessoires...*

Au SID chaque immeuble possède un numéro d'immeuble unique constitué de la façon suivante :

290019513R

290 correspond au département

019 est le numéro de la commune

513 est le numéro attribué à l'immeuble

R est une clé de contrôle calculé à partir du numéro d'immeuble

Chaque immeuble est constitué de composants qui possèdent également un numéro unique.

Ainsi l'ESID de Brest alimente et met à jour des bases de données concernant :

- Les immeubles ;
- Les composants ;
- Les réseaux (électriques, AEP, EU, EP, Gaz, Telecom) ;
- Le mobilier urbain ;
- Les servitudes ;
- Les installations industrielles (grues, station de pompage, installation hydrocarbure)
- Les arbres.

Pour réaliser ces missions l'ESID utilise les suites de logiciels développés par :

- ESRI:
  - ArcMap: Logiciel de SIG en 2D ;
  - ArcScene: Logiciel de SIG en 3D, traite des données à l'échelle locale ;
  - ArcGlobe : Logiciel de SIG en 3D, traite des données à l'échelle globale ;
  - CityEngine : Logiciel de modélisation de ville en 3D.
- Bentley :
  - Microstation : logiciel de DAO.
- Leica
  - Cyclone: logiciel de traitement de nuage de points ;
  - Leica Géo Office: logiciel de post-traitement de données GNSS.

### **I.1.3 Historique des mutations technologique de l'ESID de Brest**

Avant 2006 l'ESID de Brest travaillait uniquement avec des plans DAO.

Depuis, la cellule référentielle a accédé à titre d'expérimentation à un logiciel de SIG. Ces premiers tests coïncident avec les nouveaux besoins en cartographie du service. Les capacités et la souplesse du système permettent de générer les cartes des différents scénarii envisagés de manière précise et rapide à partir d'extractions d'information des bases de données.

Fort satisfaite de cette expérimentation, la cellule ne cesse depuis de renforcer sa connaissance du patrimoine au travers de cet outil.

## **II Contexte de l'étude**

Certains processus de mise à jour ou de création de données de l'ESID sont bien maîtrisés et rationalisés. Cependant, d'autres besoins naissent avec l'apparition de nouveaux outils qui eux ne sont pas encore maîtrisés et encore moins optimisés.

### **II.1 Pourquoi créer une maquette 3D**

La communication est aujourd'hui un élément essentiel lors de la création d'un projet. Le choix de se diriger vers la création de modélisations en 3 dimensions s'impose suite à un constat évident : nous voyons en 3D ! Ainsi un projet inséré dans une maquette est beaucoup plus facile à imaginer qu'un projet sur un plan 2D. De plus la Métropole de Brest travaille aujourd'hui en 3 dimensions puisque qu'elle dispose d'une maquette depuis 2011. Pour discuter d'égal à égal avec cette personne publique, il est nécessaire d'avoir des outils équivalents pour pouvoir mener nos propres expertises. Dans ce contexte l'ESID de Brest a entamé sa mutation vers la création et l'exploitation de maquettes en 3D.

L'objectif du travail n'est pas d'obtenir une maquette très fine avec beaucoup de détails mais plutôt de créer des outils et de mettre en place des processus pour qu'à partir des données existantes

2D de l'ESID, des levés au scanner 3D ou des données externes en licence libre, une maquette soit réalisée dans un temps raisonnable.

Mis à part à quelques sites majeurs comme l'arsenal de Brest, les bases aéronautiques de Lan-Bihoué et Landivisiau, l'Ile-Longue,... le patrimoine de l'ESID est éclaté. Créer une maquette complète du patrimoine de l'ESID serait d'un intérêt limité car le rendu serait morcelé. La maquette 3D trouve un intérêt principalement lorsqu'un projet est envisagé sur le site : plusieurs propositions peuvent être intégrées pour se rendre visuellement et quantitativement compte des avantages et inconvénients de chacune. L'ESID a donc fait le choix de mettre en place des processus utilisables dans le cas où une maquette 3D est nécessaire sur un site donné. Des méthodes pourront par la suite être mise en place pour assembler ou créer une maquette plus globale.

Il serait aussi intéressant pour l'ESID de Brest de pouvoir faire des simulations sur cette maquette, comme par exemple pour modéliser un risque de submersion, déterminer l'inter-visibilité entre une installation classée confidentiel-défense et les alentours, des champs de vue autour de sémaphores, des profils d'obstacles dans le cadre des servitudes radioélectriques...

## **II.2 Etat de l'art : en matière de maquette 3D**

### **II.2.1 Intercommunalité et maquette 3D**

Actuellement de nombreuses Métropoles créent leur maquette 3D dans un but de communication, et tout particulièrement pour intégrer directement leurs projets dans l'environnement existant.

Certaines collectivités font le choix de créer des maquettes dressées uniquement grâce à des levés par photogrammétrie aérienne, ce qui est le cas de Nîmes. D'autres villes complètent ces levés par des levés LIDAR, comme par exemple Le Grand Lyon.

La maquette de Brest Métropole est construite sur une base de levés photogrammétriques aériens. Actuellement une campagne de levés terrestres est en cours pour compléter la texturation des façades de la ville. En plus de ces deux méthodes de levé, Brest Métropole fait construire par infographie les sites emblématiques de la ville pour un rendu plus fin. Ces données sont téléchargeables sur le site internet de BM.

Certaines collectivités commencent à intégrer des données 2D dans le processus de modélisation de l'espace en 3D : c'est le cas du Havre. Vincent Coëz a travaillé sur ces méthodes pour la réalisation de la maquette de la ville durant son TFE en 2014.

Un grand nombre de maquettes 3D sont réalisées dans un unique but : la visualisation. Les bâtiments, le mobilier ou les arbres n'ont donc, dans ce cas, aucun attribut. Des recherches ont cependant été faites pour passer à un nouveau type de maquette dite « intelligente ». Ce nouveau type de maquette permettrait une exploitation de l'outil comme un SIG actuellement (réalisation de requêtes, simulation, etc,...).

La ville de Montréal au Canada a créé une maquette intelligente de son centre-ville. Ainsi la représentation en 3D des éléments permet le stockage d'attributs comme le nom du propriétaire, la hauteur ou encore l'adresse d'un bâtiment. La donnée est disponible au format CityGML.

## **II.2.2 Les formats et standards de données 3D**

De nombreux formats de données existent pour représenter des volumes en 3D. Nous allons dans cette partie présenter ceux principalement utilisés lors de ce travail et deux en plein essor.

### **II.2.2.1 Le format DGN**

C'est le format propriétaire du logiciel Microstation développé par Bentley Systems. C'est un format de DAO qui a la particularité d'être compatible entre ces différentes versions : un .DGN3 pourra être lu avec Microstation 8et inversement (sauf les nouveaux éléments graphiques qui sont ignorés).

### **II.2.2.2 Le format Shape File**

Le Shape File ou fichier de forme est un format initialement développé par ESRI. Il permet de stocker une information vectorielle dans le domaine du SIG. A la base ce format était un format propriétaire d'ESRI mais est devenu comparable à un format libre (open source) car utilisé par de nombreux logiciels libres. Ce format peut représenter des ponctuels, des lignes, des polygones et des volumes 3D texturés (multipatch).

Ce format sera très utilisé lors de ce travail.

### **II.2.2.3 Le format DAE (COLLADA)**

L'extension .DAE réfère au format COLLADA qui est un standard de schéma XML ouvert. Collaborative Design Activity a pour objectif d'établir un format de fichier d'échange pour des applications 3D.

### **II.2.2.4 Le standard CityGML**

CityGML est une norme internationale pour la représentation d'éléments urbains en 3D. Né en 2008 ce format de données est le fruit d'une initiative de l'Open Geospatial Consortium (OGC). Ce standard modélise les objets de façon thématique (les bâtiments, l'hydrographie, la végétation,...). Il permet le stockage d'attributs. L'atout majeur du CityGML est que ce format est libre d'utilisation. Un concept a été créé pour la gestion du changement d'échelle de ce format : le LOD (Level Of Details). Cela permet d'évaluer le niveau de détails du modèle 3D représenté :

- LOD0 : régional, représentation du terrain : une orthophotographie ou une carte peut être drapée sur un modèle numérique de terrain, avec des données de niveau régional d'occupation des sols, d'hydrographie et de réseaux de transport.
- LOD1 : vue urbaine. Les bâtiments sont modélisés sous forme de bloc à toits plats.
- LOD2 : quartier, projets. Les bâtiments sont modélisés avec leur structure de toit, et des surfaces délimitatives sémantiquement classifiées. Des objets de végétation, de mobilier urbain et de réseau de transport plus détaillés peuvent également être modélisés.
- LOD3 : modèle architectural (extérieur) et infrastructures ou objets urbains. Les structures détaillées des façades et des toits, balcons, fenêtres sont modélisées, ainsi que les textures « haute résolution », les objets de végétation, de mobilier urbain et de réseau de transport détaillés.

- LOD4 : modèle architectural (intérieur). Ce niveau a été conçu en cohérence avec le modèle IFC (standard permettant de modéliser les intérieurs et extérieurs de bâtiments). Le LOD 4 permet donc de décrire la géométrie intérieure d'un bâtiment, ainsi que les portes, escaliers ...

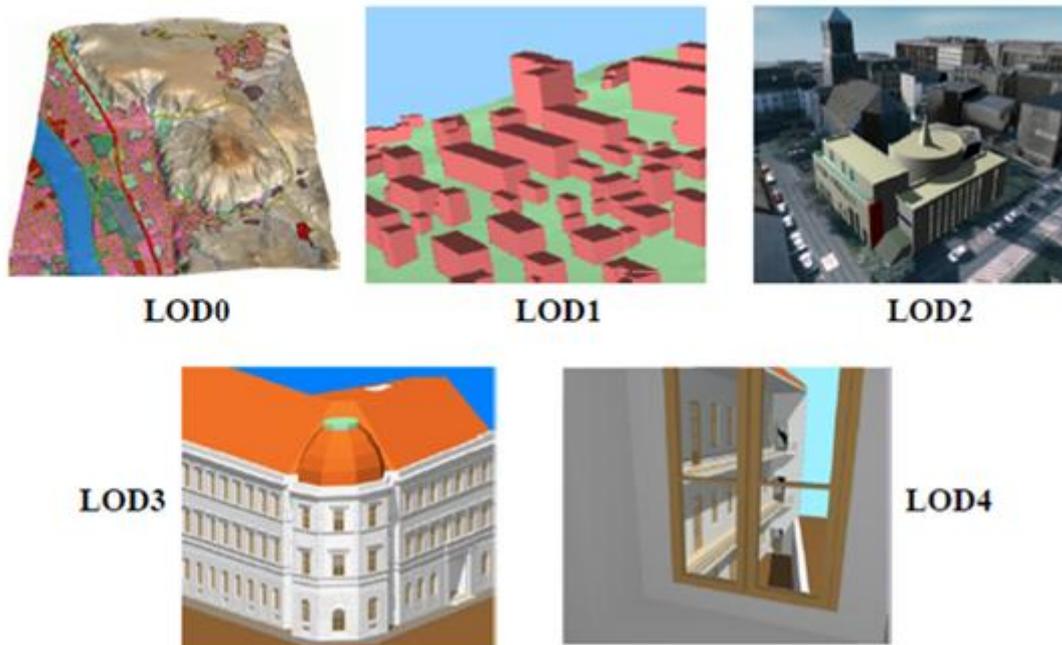


Illustration 2 : Les niveaux de détails du standard CityGML

Source : Gilles Gesquière, Emmanuel Devys, Marie-Lise Vautier : *CityGML : Un standard fédérateur de modélisation et d'échange de données urbaines 3D*. Disponible sur : [georezo.net](http://georezo.net)

Ce standard de donnée n'est pas directement utilisé à l'ESID de Brest mais des Métropoles ont fait le choix de l'utiliser (à l'instar de Rennes Métropole). Il est appelé à se démocratiser dans les années à venir.

### II.2.2.5 Le format du BIM : l'ISO-IFC

Le BIM (Building Information Modeling) est la représentation numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un bâtiment. Cette représentation, possible grâce à des logiciels spécialisés, est enregistrée au standard ISO-IFC qui permet l'interopérabilité entre les logiciels de BIM. Ce standard ISO-IFC est ouvert et gratuit. Le BIM est une plateforme d'échange qui peut être utilisée par tous les acteurs d'un projet dans le domaine du bâtiment.

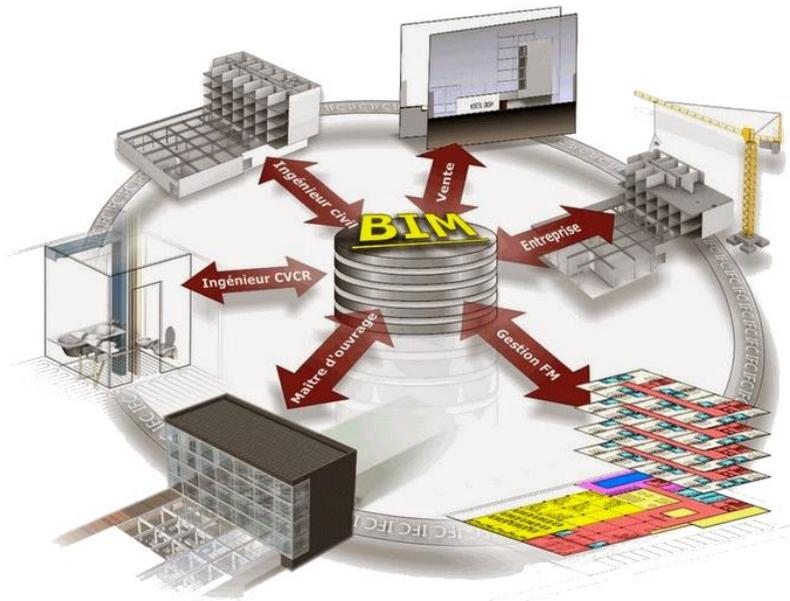


Illustration 3 : Le BIM : plateforme d'échange pour les professionnels du bâtiment

Source : [www.elitecad.eu/en-gb/BIM-technology](http://www.elitecad.eu/en-gb/BIM-technology)

Des projets BIM peuvent être proposés pour import dans une maquette 3D, mais à l'heure actuelle nous n'en sommes pas encore à appliquer cette technologie à l'échelle de villes entières.

### II.2.2.6 Liens entre BIM et SIG 3D

Le SIG et le BIM ont des modes de conception différents : un SIG 3D modélise plutôt un ensemble de surfaces jointes alors que le BIM représente des solides. Cependant des recherches sont en cours pour l'utilisation du standard CityGML (conçu à la base pour les SIG 3D) pour le BIM.

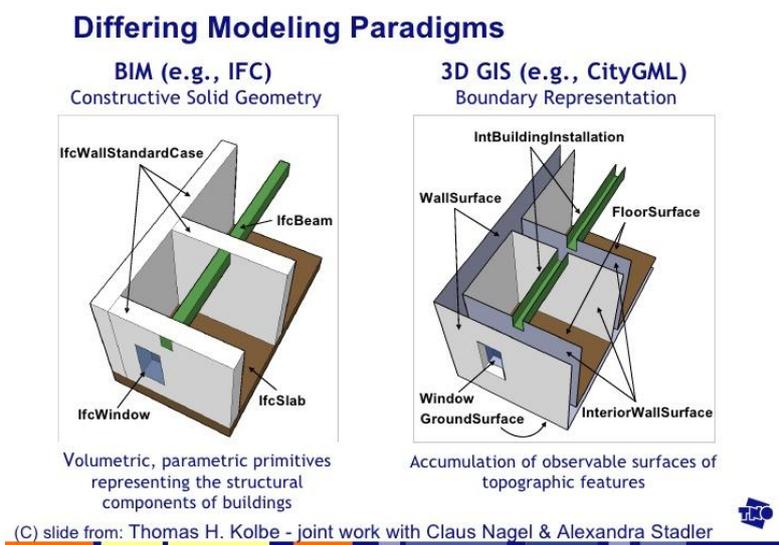


Illustration 4 : Différence de conception entre BIM et SIG 3D

Source : Léon Van Berlo : *CityGML Extension for BIM/IFC information*

Comme le dit Olivier Baumann dans son article dans la revue Le Moniteur (Mai 2014) : « Différents par nature, le BIM et le SIG sont en fait complémentaires. Car si le rôle du BIM s'arrête à

l'enveloppe de l'ouvrage, c'est là que celui du SIG commence. » Les deux concepts combinés permettraient donc de passer de la vue d'ensemble d'un quartier à la vision intérieure d'un bâtiment.

### **II.2.3 Conclusion sur l'état de l'art**

La 3D est actuellement en plein essor dans le monde de l'urbanisme et de la maîtrise d'œuvre. De nombreuses Métropoles et Communautés Urbaines créent leur maquette 3D pour améliorer la communication des projets futurs. Pour la plupart elles acquièrent des données spécifiques pour créer ces maquettes (levés photogrammétriques). La problématique de ce stage n'est pas de créer une maquette 3D à partir de données relevées à cet effet mais bien de créer des outils qui utilisent des bases de données natives 2D existantes pour obtenir une maquette 3D. En ce sens, le travail de Vincent Coëz sur la ville du Havre aurait été intéressant. Il a travaillé pour le service topographique de la ville du Havre à la modélisation de l'espace public de façon automatisé à partir de plan 2D avec des outils similaires à ceux de l'ESID. De multiples formats de données existent pour représenter des objets en 3D. Ils progressent pour le moment chacun de leur côté mais vont probablement cohabiter voir fusionner dans un avenir proche.

### III Création de maquettes 3D à l'ESID de Brest

Dans un premier temps, l'objectif de cette étude est de créer et d'évaluer une maquette 3D de sites militaires à partir des données 2D de l'ESID, de levés topographique (scanner 3D) et de données extérieures éventuelles (données opensources). L'aspect automatisé de la création des maquettes sera largement abordé.

Dans un second temps les possibilités de diffusion et de simulation de ces maquettes seront évaluées.

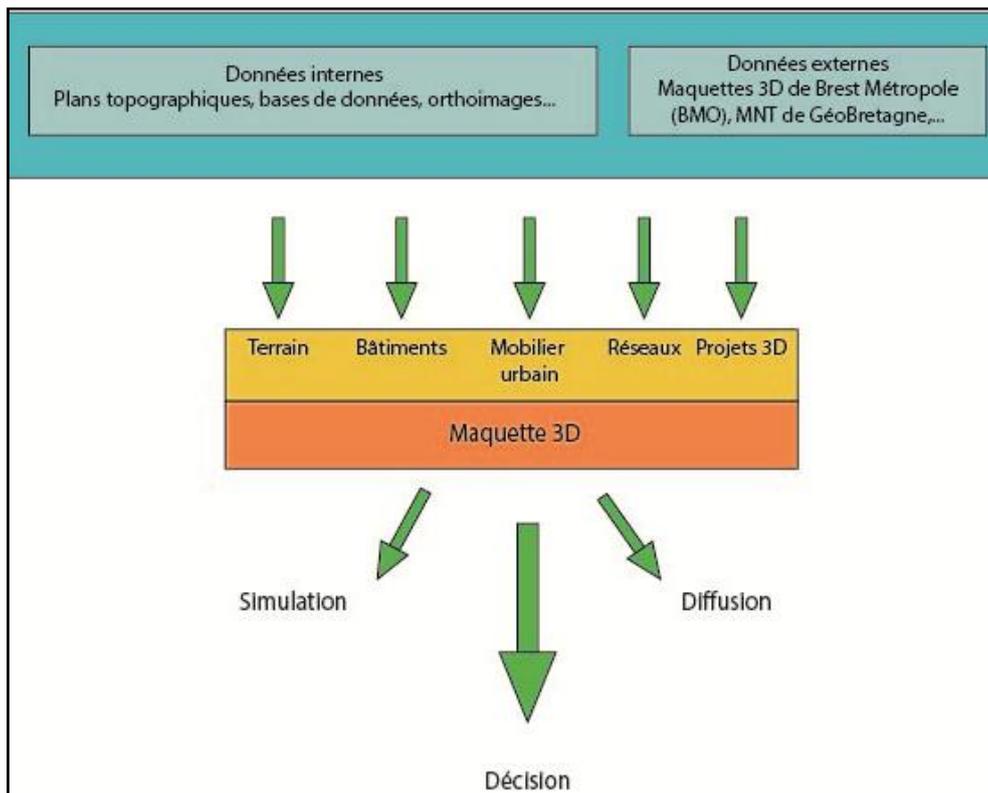


Figure 1 : Organigramme de création d'une maquette 3D

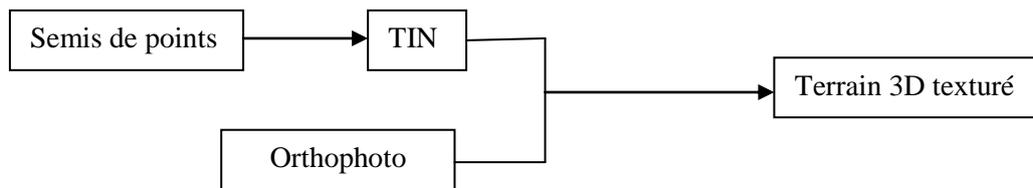
Plusieurs logiciels sont disponibles à l'ESID de Brest pour créer une maquette 3D : CityEngine et ArcScene. Les capacités de chacun seront évaluées dans chaque cas.

#### III.1 Modélisation du terrain

##### III.1.1 Modélisation du terrain à partir de semis de points

L'ESID dispose d'un certain nombre de données permettant de modéliser le terrain d'une emprise. La majorité des terrains ont fait l'objet d'un levé topographique. Nous avons donc à disposition des semis de points 2D avec une altitude. Ces semis permettent de créer un TIN (Triangular Irregular Network).

L'ortho-photo sera drapée sur le TIN une fois créé pour obtenir une modélisation en 3D représentant le terrain.



**Figure 2 : Processus de création d'un terrain 3D**

La qualité de cette modélisation dépend d'une part de la densité du semis de point et d'autre part de la qualité de l'ortho-photo.

Dans la construction de la maquette c'est une des étapes qui est difficile à automatiser : il est souvent nécessaire d'assembler les semis de points, il faut également les nettoyer voir même les corriger en allant reprendre des points sur le terrain.

Actuellement les semis de points ne sont pas assez denses pour que la représentation du terrain soit tout à fait fidèle à la réalité. Il manque fréquemment des points sur les lignes de rupture de pente, etc... Le cahier des charges du futur marché de levé topographique de l'ESID tiendra dorénavant compte de ce besoin.

### **III.1.2 Modélisation du terrain à partir de MNT**

L'ESID dispose d'un MNT acquis par photogrammétrie aérienne avec une résolution de 5m. Il permet de représenter le terrain de manière directe et peut être texturé à l'aide de l'orthophotographie. La précision de ce MNT est grossière, le terrain représenté est lissé : il ne permettra pas la représentation de déformations ponctuelles du terrain comme des talus ou des buttes.

Notre MNT est un raster, c'est-à-dire une image composée de pixels contenant chacun une information altimétrique, ce qu'ArcScenem'interprète pas directement. Le raster est représenté à plat (pas de maillage mais une radiométrie en fonction de l'altitude). Ce n'est que lorsqu'une orthophotographie est drapée avec un MNT qu'on obtient un rendu 3D dans ce logiciel.

CityEngine interprète directement le MNT grâce à l'onglet « import de terrain ». Le MNT est intégré avec l'orthophotographie et le terrain est représenté en 3D.

## **III.2 Modélisation des bâtiments**

Suivant le niveau de détail de la maquette le rendu est plus ou moins réaliste : les bâtiments peuvent être représentés par un simple volume, la forme des toits peut être modélisée en supplément, une texturation peut être ajoutée... Plus le niveau de détails est élevé, plus la maquette est réaliste.

Plusieurs stratégies peuvent être envisagées pour cette partie : la récupération de données existantes extérieures ou la création de volumes à partir de données propres à l'ESID. Plusieurs méthodes vont être testées dans cette partie afin de déterminer les avantages, les inconvénients et la facilité de mise en œuvre de chacune.

### **III.2.1 Récupération des données de Brest Métropole**

La Métropole de Brest est avancée en matière de représentation 3D. En effet cette collectivité dispose d'un service SIG qui travaille depuis 2009 à la réalisation d'une maquette de la ville de Brest

en 3D. Plusieurs levés photogrammétriques ont été réalisés en 2010 et 2012. Les données sont libres d'accès et peuvent être téléchargées sous différents formats. Plusieurs données sont disponibles : le sol, le sursol, les toits, les façades, les arbres. La résolution de l'orthophotographie est de 10cm, la précision du levé photogrammétrique des bâtiments est de 50 cm en planimétrie (valeur annoncée par BM).

Contrairement aux autres sources de données envisagées, les données de BM sont directement en 3D. Aucun traitement n'est nécessaire avant l'intégration dans la maquette 3D.

Les avantages de ces données sont : une bonne précision (50 cm annoncé), une représentation réaliste des toits et un libre accès (gratuit).

L'inconvénient majeur est la limite géographique de ces données : elles sont limitées au territoire de BM alors que l'ESID de Brest s'étend sur 3 départements. Ces données peuvent être intégrées dans différents logiciels de représentation 3D (CityEngine, ArcScene, Sketchup, ...).

### **III.2.2 Emprise des bâtiments à partir des plan DAO**

Tous les bâtiments faisant partis du patrimoine de l'ESID de Brest font l'objet d'un levé topographique. Ce levé topographique a une précision de l'ordre de quelques centimètres (<10cm). Pour être intégrables dans le SIG de l'ESID, ces plans doivent être transformés en couches Shape file ou en Géodatabase ( Dans cette étude nous avons utilisé le format Shape file). Certains plans récents n'ont pas encore subi cette transformation. Cette étape est faite pour le moment manuellement. Dans le but d'améliorer la productivité, un outil doit être créé pour automatiser cette étape avant tout passage en 3D.

#### **III.2.2.1 Conversion de plan DAO vers des données SIG**

Les plans topographiques sont au format .DGN à l'ESID. Il s'agit du format propriétaire de Microstation, logiciel développé par Bentley.

Pour la conversion de plan DAO en donnée SIG, le cahier des charges est le suivant :

- Les fichiers d'entrée sont des .DGN(Microstation) respectant la charte graphique du SID ;
- Seul trois niveaux et leurs numéros de composant associés doivent être convertis (bâti, non construit et aire aménagée);
- Les polygones contenant d'autres polygones doivent être extrudés (principe d'inondation), aucun polygone ne doit se superposer ;
- Les numéros de composants doivent être associés en attribut du polygone créé. Les composants ayant le même numéro de composant doivent être fusionnés ;
- Les fichiers de sortie sont au format .SHP (Shape file).

Seuls les polygones d'emprise des bâtiments sont intéressants pour la construction de la maquette 3D, cependant les autres niveaux doivent être intégrés dans le SIG. Une fois ces couches extraites, une simple requête permettra de ne conserver que les bâtiments.

### **III.2.2.2 Etat de l'art en matière de conversion DAO/SIG**

Les fichiers au format .DGN peuvent directement être importés dans un espace de travail ArcMap. Cependant cette opération importe tout le fichier en classant les entités par type (point, polylignes, polygones, multipatch et annotations). Tous les éléments sont importés, on ne peut pas sélectionner les niveaux intéressants. Les numéros de composant sont contenus dans la couche « annotation » et ne sont pas en attribut du polygone. Il faudrait donc supprimer manuellement les éléments inutiles pour ne conserver que les numéros de composant. Cette solution est rébarbative et fastidieuse.

Lors de son TFE intitulé « Conversion de données DAO 2D ou 3D en données SIG en 2010 », Justin PERNOUD a énoncé une liste des convertisseurs existants. Voici un bref résumé de son travail :

Le logiciel MapInfo dispose d'un module permettant de transformer des fichiers .DGN en fichier .shp. Cet outil est intitulé « traducteur universel ». Il est nécessaire de posséder le logiciel MapInfo pour utiliser cette extension. L'ESID utilise la suite ArcGis de ESRI, nous n'avons donc pas accès à MapInfo. Cette solution est à exclure pour notre problème.

Dans la même idée, il existe un convertisseur nommé CAD2Shape qui permet de convertir des fichiers issus d'AutoCad (.dwg, .dxf) en shape, Surfer Blanking et XYZ. Nos fichiers natifs sont au format Microstation (.DGN). Ce convertisseur ne pourra donc pas être utilisé.

L'extension Data Interoperability de ArcMap permet de faire des transformations diverses et variées de plus de 100 formats de données d'entrée. Des transformations peuvent être effectuées sur la donnée avant qu'elle soit retranscrite dans un autre format. Cet outil sera utilisé pour réaliser notre opération.

### **III.2.2.3 Réalisation d'un outil de conversion de plan .DGN en .SHP**

L'objectif pour l'ESID est de convertir les plans fournis par les sous-traitants au format DAO en un format compatible au SIG à savoir le Shape file. Les plans de DAO peuvent être directement intégrés dans un logiciel de SIG, cependant toutes les couches sont intégrées et classées par type (point, ligne, polygone). L'ESID cherche à intégrer uniquement certaines couches spécifiques des plans :

- SID\_POLYLIGNES\_BATI
- SID\_POLYLIGNES\_AIRE\_AMENAGE
- SID\_POLYLIGNE\_NON\_CONSTRUIT

Ces niveaux correspondent à des polygones qui permettent par la suite de calculer les surfaces de chaque couche. Les numéros de composant doivent être intégrés dans le polygone qui le contient.

Un outil est créé avec l'extension FME Data Interoperability d'ArcGIS pour répondre à ce cahier des charges.

Cet utilitaire permet, à partir de readers (bloc contenant les niveaux sélectionnés du dessin DAO), de faire intervenir des transformations pour obtenir le résultat attendu. Ce résultat est alors

stocké dans des writers. Concrètement, ces writers créent des couches, dans le cas présent en Shape file.

Le SID a mis en place une charte graphique qui doit être utilisée par tous les intervenants créateurs de plans. Nous sélectionnons dans la charte graphique les niveaux qui nous intéressent.

Le dessinateur devra respecter des préconisations pour la réalisation du dessin :

- Les polygones ne devront pas se croiser ;
- Les polygones doivent être fermés ;
- Deux polygones voisins qui se touchent doivent avoir tous leurs sommets en commun (sur la partie qui se touche).

Les niveaux importés sont le plus souvent des polygones cependant il arrive que ce soit des lignes brisées non fermées : l'outil créé commence par fermer des polygones qui seraient mal construits (problème d'accrochage des points en DAO). Pour ce faire, un transformer est utilisé dans l'extension Data Interoperability d'ArcGIS. Les transformers sont des outils qui permettent de travailler sur la donnée à convertir. Celui utilisé dans le cas présent permet de clore un polygone avec une tolérance de 10cm.

L'outil va ensuite par une succession de filtres spatiaux retirer les polygones qui se superposent exactement (le principe d'inondation doit être respecté).

En sortie aucun des polygones ne se superposent même s'ils ne font pas partie de la même couche.

Ensuite un transformer associe les numéros de composant aux polygones qui les contiennent.

Préalablement les numéros de composant sont traités : ils doivent être composés du numéro d'immeuble suivi du numéro de composant.

Pour finir les polygones voisins qui contiennent le même numéro sont fusionnés.

L'annexe 1 présente l'interface FME de l'outil créé.

Pour une présentation détaillée de plusieurs transformers, se référer au guide de référence FME ou rapport de Florian BORET : Mise en place de la maquette SIG 3D de Brest Métropole (plus détaillé).

### **III.2.3 Emprise des bâtiments à partir de la BD Topo**

L'ESID dispose également de données externes telles que la BD Topo de l'IGN.

L'avantage de cette base de données est qu'elle contient un attribut de hauteur pour tous les bâtiments. Cependant la précision de la BD Topo est métrique et des zones militaires sensibles ne sont pas couvertes par ce levé photogrammétrique. (Ex : l'île Longue).

A partir des couches SIG des emprises des bâtiments et leurs attributs, il faut créer des volumes. Plusieurs stratégies peuvent être envisagées.

### III.2.4 Création d'un volume 3D à partir d'une empreinte 2D

L'attribut de hauteur est directement disponible lorsque l'on utilise les BD Topo. Si cette couche n'est pas disponible sur l'emprise, la couche des composants peut être utilisée. Elle inclut un attribut sur le nombre d'étages. En attribuant une hauteur d'étage arbitraire nous obtenons un volume. Dans ce dernier cas la hauteur correspondra rarement à la réalité, la hauteur d'étage pouvant varier d'un bâtiment à l'autre. Le marché de levé topographique qui sera passé cette année inclura dans le cahier des charges la nécessité d'attribuer une hauteur aux bâtiments.

#### III.2.4.1 Modélisation des bâtiments avec ArcScene

L'extension 3D Analyst d'ArcGIS donne accès au logiciel ArcScene. Cet utilitaire permet de visualiser des données SIG en 3D. Contrairement à ArcMap où le point de vue est fixé en vue du dessus, dans ArcScene le point de vue peut être modifié pour percevoir la perspective.

A partir d'une empreinte 2D chargée dans ArcScene, un volume est créé grâce à l'onglet « extrusion » des propriétés de la couche. Une valeur numérique arbitraire peut être utilisée, mais plus intéressant, un attribut est sélectionnable. Des calculs peuvent être effectués pour aboutir à la hauteur (par exemple nombre d'étages multiplié par hauteur d'un étage).

Avec l'attribut de hauteur de la BD Topo nous obtenons des volumes à toit plat. Cette représentation correspond à un niveau de détail 1 (LOD1).

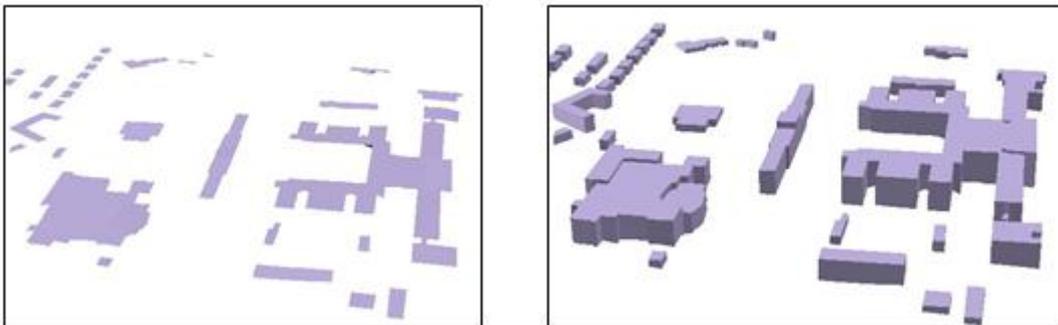


Illustration 5 : Bâtiments avant et après extrusion

Les possibilités de création des bâtiments s'arrêtent là pour ce logiciel. Il n'est pas possible d'ajouter les formes de toits et les texturations aux façades des bâtiments.

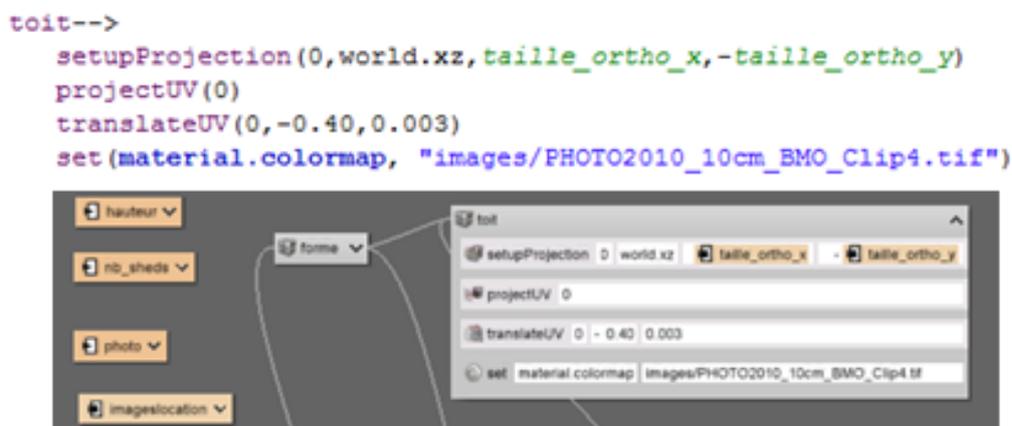
#### III.2.4.2 Modélisation des bâtiments avec CityEngine

CityEngine est un logiciel de modélisation de la ville en 3D. Ce logiciel créé par la société Procédural a été intégré dans le produit ArcGIS suite au rachat de Procédural par ESRI en 2011. Ce logiciel permet d'appliquer des règles procédurales à des couches d'entrée pour créer une maquette en 3D.

Ainsi, suite à l'import des emprises de bâtiments, des volumes sont créés par application d'une règle. Les règles procédurales sont écrites en langage de scripting CGA (Computer Generated Architecture). Ce langage est spécifique à la conception d'objets 3D architecturaux.

CityEngine interprète les attributs des données SIG importés, lesquels peuvent être utilisés dans les règles procédurales. Les possibilités de création de bâtiments sont beaucoup plus poussées que sur ArcScene.

Les règles procédurales se présentent sous la forme de code ou de modèle de création. La seconde option est une interface visuelle. Les deux possibilités produisent le même résultat. Pour un exemple, se référer aux annexes 2 et 3.



**Illustration 6 :** En haut une règle procédurale sous forme de code, en bas une règle procédurale sous forme de modèle de création visuel

Dans un premier temps, les bâtiments sont simplement montés en volume comme nous l'avons fait dans ArcScene. En plus, l'utilisation de règles procédurales permet de texturer les façades et le toit, de découper les fenêtres, de scinder l'immeuble en étages, ... De cette façon, des modèles de bâtiment peuvent être créés et appliqués en fonction d'un type de bâtiment contenu dans la table attributaire de la donnée d'entrée.

### **III.2.4.2.1 Modélisation du volume**

L'ESID dispose pour la création des bâtiments des emprises de ceux-ci contenues dans une couche Shape file intégrée aux bases de données (couche de composant). Pour créer des volumes aussi réalistes que possible, il faut des données en entrée comprenant des informations propres à chaque bâtiment. Plus les données 2D sont exhaustives, plus la réalisation 3D de chaque objet sera personnalisée. Pour réaliser une maquette un tant soit peu réaliste, il faut au minimum un attribut de hauteur pour chaque bâtiment. La création de volume avec une hauteur arbitraire n'est pas envisageable car insuffisante pour les besoins de l'ESID.

A partir de cet attribut de hauteur une règle procédurale est mise en place pour créer les volumes. Une fois le volume de base créé, nous le divisons en plusieurs parties qui seront traitées séparément : le toit et la façade.

```

bloc-->
  cleanupGeometry(all,0)
  extrude(hauteur)

comp(f){ side: facade_defaut | top:toit }

```

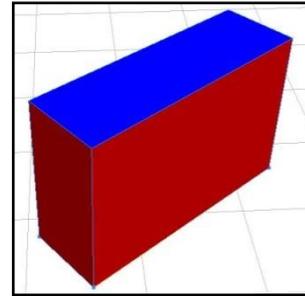


Illustration 7 : extrait du code de décomposition d'un bâtiment

De la même façon la table attributaire peut contenir un attribut indiquant la forme du toit. En réalisant une structure conditionnelle « Case » (équivalent à si ... alors) nous pouvons attribuer une forme de toiture à chaque bâtiment.

Certaines formes de toitures sont prévues dans les fonctions de base du langage CGA, d'autres non. Dans ce cas, nous pouvons les obtenir de façon détournée en utilisant d'autres fonctions. C'est le cas des toitures en sheds.

Une toiture en sheds (ou à redans partiels) est une toiture en dents de scie formée d'une succession de toits à deux versants de pentes différentes. Ce type de toiture recouvre fréquemment les bâtiments industriels car il offre une grande portance et laisse passer la lumière.



Illustration 8 : Toiture en Sheds

Pour réaliser une toiture en sheds de façon détournée, nous avons procédé par découpage de la surface du toit puis attribution à chaque partie découpée d'un style de toit à un versant. L'orientation de la toiture sera définie arbitrairement car la table attributaire des bâtiments n'inclut pas d'information à ce sujet. En général avec ce type de toiture, les parois vitrées sont orientées au nord (lumière constante et effet de serre réduit).

L'opération de découpage du toit se feratoujours selon le même axe : Y dans le repère local de l'emprise du bâtiment. Ce repère est placé arbitrairement par le logiciel. Dans le repère général l'axe Y est confondu avec la direction nord/sud. Le repère local d'un bâtiment sera déterminé par la rotation minimale du repère général nécessaire pour que les axes coïncident avec les façades du bâtiment.

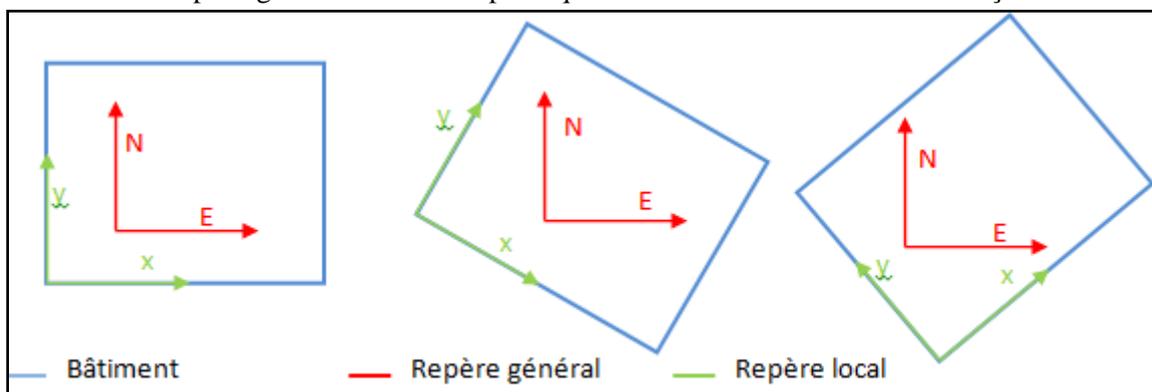
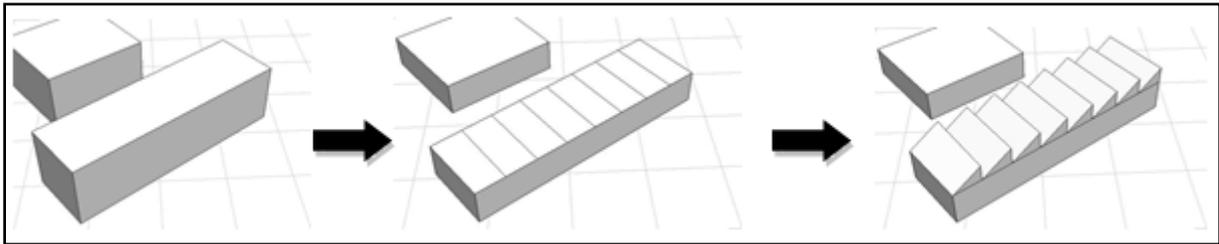


Figure 3 : Placement d'un repère local dans CityEngine

Ainsi en choisissant de découper les bâtiments en suivant l'axe Y, les sheds seront orientés vers le nord (mais pas forcément de la façon la plus directe).

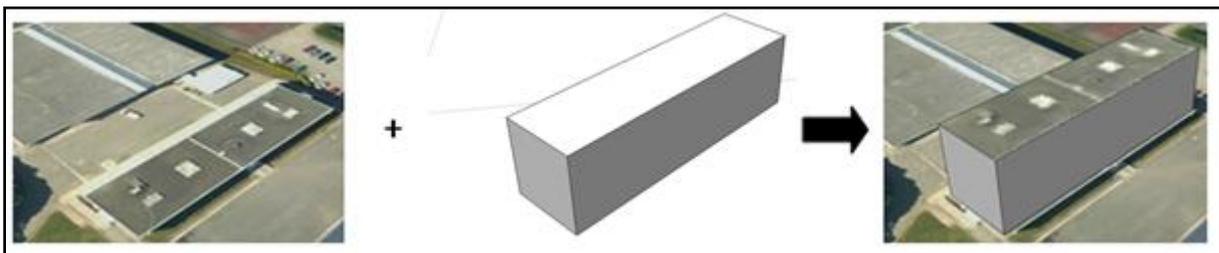


**Illustration 9 : Procédure de création d'un style de toit**

Les volumes sont maintenant créés en fonction d'une hauteur et d'une forme de toit.

#### **III.2.4.2.2 Texturation des volumes**

La texturation des toits est la plus simple à réaliser : il suffit de projeter l'orthophotographie du sol sur le toit du bâtiment pour obtenir une représentation réaliste.



**Illustration 10 : Texturation des toits**

Pour réaliser cette projection, CityEngine crée un repère local dans l'image. La partie de l'orthophotographie en dessous du bâtiment sera projetée sur le toit de ce bâtiment. Les paramètres de la projection doivent inclure la dimension de l'orthophotographie pour que l'image corresponde en planimétrie à la toiture du bâtiment.

Une légère translation de l'orthophotographie peut être nécessaire pour que les bords des toits du volume et de l'orthophotographie coïncident au mieux.

Après avoir réalisé cette projection, nous constatons que la qualité de l'image projetée est dégradée par rapport à l'orthophotographie de départ. Après vérification, c'est une erreur du logiciel qui devrait être corrigée dans les prochaines mises à jour.

En ce qui concerne la façade des bâtiments, plusieurs stratégies peuvent être abordées :

- Une texturation fictive en fonction du type de bâtiment
- Une texturation grâce à des photographies de chaque bâtiment prises sur le terrain
- Une texturation acquise par levé photogrammétrique

La première possibilité a été envisagée par d'autres avant nous. BM a tenté l'expérience : le service SIG a créé 16 types de bâtiment différents pour représenter la ville de Brest. Cette technique a été abandonnée rapidement, le rendu n'étant pas satisfaisant. Cette représentation arbitraire trouverait très rapidement ses limites pour la représentation du patrimoine de la Défense, les bâtiments étant très variés. On dénombre plus de 30 types de bâtiments dans les données de l'ESID de Brest. Au vu du temps imparti à cette étude, la création de modèle pour les types de bâtiment de la Défense est trop longue à mettre en œuvre. Il y aurait de multiples modèles à réaliser et des modèles très spéciaux comme par exemple des sémaphores, des blockhaus, des bâtiments industriels gigantesques et plus petits, des bureaux, des bâtiments historiques,...

De plus, rien qu'à l'arsenal de Brest des bâtiments ayant la même fonction peuvent avoir des apparences très différentes car le patrimoine historique et le patrimoine récent se côtoient sur les mêmes sites.



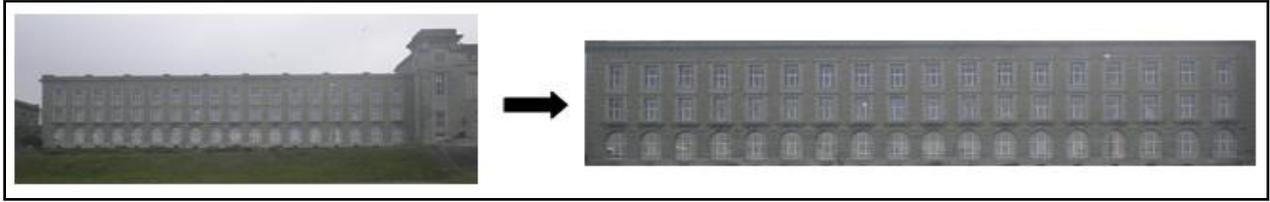
**Illustration 11 : Bâtiments d'aspect différent classés dans la même catégorie**

La troisième possibilité est utilisée par les principales Métropoles qui créent leur maquette en 3D. Elles optent soit pour des levés par photogrammétrie aérienne soit pour des levés terrestres (type Google Street View). Dans le premier cas le logiciel RinoCity permet en intégrant les photos et le plan de vol de la prise de vue de texturer directement et automatiquement les bâtiments. Actuellement l'ESID ne dispose pas des moyens nécessaires à la mise en œuvre de ces techniques.

C'est la seconde possibilité qui sera donc testée pour créer une texturation de façade. L'idée est de plaquer des photographies sur les façades des bâtiments. Toutes les façades du bâtiment ne seront pas photographiées, une répétition sera appliquée. Cependant, le style du bâtiment est respecté. Les photos ne seront pas redressées par photogrammétrie pour deux raisons : nous ne sommes pas dans une démarche de texturation avec précision. Pour rappel, nous cherchons à obtenir un rendu le plus fidèle possible avec des traitements automatisés.

L'avantage est que l'opération de plaquage peut être automatisée, une fois les photos acquises et modifiées. L'opération consiste à créer un programme qui recherche une photo du même nom que le bâtiment dans un répertoire donné. Si un cliché existe, il est alors plaqué automatiquement sur la façade du bâtiment.

Pour créer la texturation, des clichés ont été réalisés sur le terrain. Il faut ensuite les ajuster pour ne garder que le bâtiment sur la photo.



**Illustration 12 : Processus de découpage d'une photographie**

Cette opération est rébarbative et ne peut pas être automatisée. Cependant, elle est assez rapide (environ une minute par photo).

Pour automatiser la recherche et le plaquage des textures, la photo de texturation doit être nommée en fonction du bâtiment qu'elle représente. Nous nommerons la photo d'un bâtiment avec l'identifiant de ce bâtiment.

Nous commençons par rechercher la photo dans un dossier prédéfini. Nous formons le nom théorique de l'image grâce à l'attribut nom du bâtiment. Si l'image de texturation existe elle se nommera : « nom\_batiment.jpg »

Cette recherche est intégrée dans une condition :

- si une photo portant le même nom que le bâtiment existe alors plaquage de la photo
- si aucune photo ne porte le même nom que le bâtiment alors plaquage d'une couleur par défaut

De la même façon que pour la texturation des toits, un repère local est mis en place et l'image est projetée dans ce repère. Cette fois, toute la photo doit être projetée sur la façade du bâtiment et non une partie (CF texturation des toits).

Ce travail impose d'appliquer une texture unique à tout le bâtiment. Les outils de CityEngine permettent de décomposer les différentes faces d'un bâtiment, mais il est impossible de créer une règle générale correspondant à chaque bâtiment (certains ont 4 faces, d'autres 8 !).

Après ces traitements sur CityEngine, avec l'ajout des formes de toit, des texturations de toit et de façades, nous obtenons des bâtiments en LOD2.

### III.2.5 Conclusion et rendu sur la création des bâtiments



Illustration 13 : Photographie aérienne du bâtiment « Armorique »



Illustration 14 : Bâtiment « Armorique » créé par BM



Illustration 15 : Bâtiment « Armorique » créé avec une règle procédurale CityEngine

Le bâtiment créé avec notre règle est ressemblant à celui de BM. Nous avons rajouté une texture de façade. Le rendu de cette texture est mitigé. Le style de pierre est retrouvé ainsi que le style de fenêtre. En revanche, les fenêtres ne coïncident pas exactement : la photographie de texturation n'est pas une photo entière du bâtiment plaquée mais une photo d'une partie du bâtiment répétée sur l'ensemble du volume. De plus, les conditions de prise de vue ne sont jamais optimales : un véhicule, un arbre ou un lampadaire gêne, la topographie oblige à prendre la photo sur le côté... C'est pour cette raison que le bas des fenêtres du bâtiment sont coupées : une haie masque la base des fenêtres.

La texturation des façades est donc une opération coûteuse en temps, qui n'apporte pas une information essentielle dans notre cas. Pour obtenir un rendu plus réaliste, il faudrait réaliser un levé photogrammétrique de chaque façade.

Les toits des bâtiments de BM sont plus détaillés que ceux des bâtiments construits à l'aide des données internes. Issu d'un levé par photogrammétrie aérienne, des détails invisibles sur un plan topographique sont représentés : par exemple une verrière au milieu d'un toit.

### III.2.6 Vérification des données créées

Dans les parties précédentes nous avons intégré des données de sources différentes. La précision de chaque donnée varie en fonction de plusieurs paramètres (type de levé, traitement,...). Il est important de connaître la précision des données en entrée pour connaître la précision des calculs effectués sur cette maquette. Nous avons étudié les emprises de bâtiments issus de données différentes:

	Plan topographique	BM	BD TOPO
Méthode de levé	Station totale	Photogrammétrie aérienne	Photogrammétrie aérienne
Précision annoncée	<10cm	50cm	métrique

Tableau 1 : précision attendu pour chaque source d'emprise de bâtiment

Le levé topographique est nettement plus précis que les deux autres sources de donnée. Nous l'utiliserons comme référence pour comparer les emprises de bâtiment de BM et de la BD Topo.

Avant toute comparaison chiffrée, nous avons déjà remarqué des incohérences visuelles entre les différentes sources de donnée : Dans l'ordre : Plan topographique, BD Topo, emprise BM

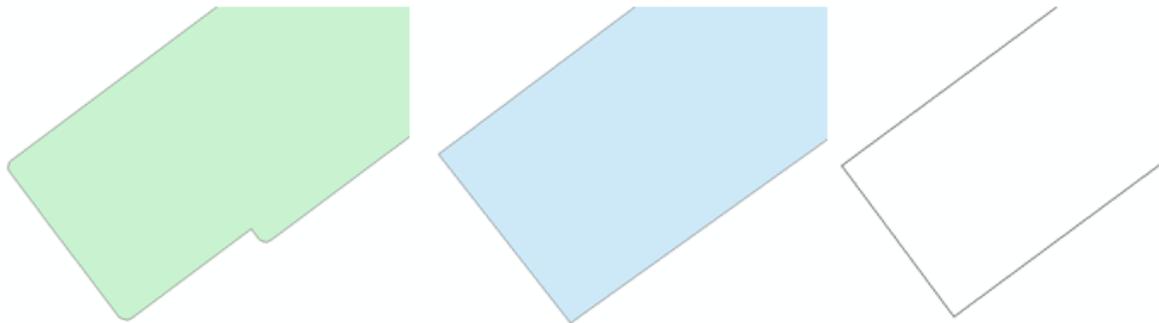
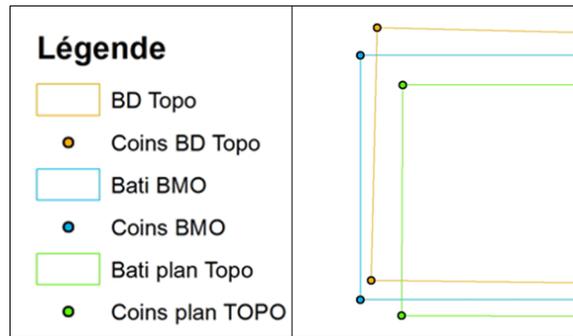


Illustration 16 : Différence de dessin suivant les sources de donnée (partie sud du bâtiment)

Le bâtiment étudié est un blockhaus, les coins du bâtiment sont des chanfreins arrondis. Les deux levés photogrammétriques ne tiennent pas compte de ce détail alors que sur le plan topographique les coins du bâtiment sont bien représentés. De plus un décroché d'environ 1mètre n'est pas représenté sur le bâtiment BMni sur celui de la BD Topo.

Nous avons cherché à comparer le levé BM et la BD Topo. Pour cela nous avons calculé la distance entre les coins de bâtiments de chaque levé photogrammétrique avec les coins du levé topographique.



**Illustration 17 : Extraction des coins de bâtiment**

Pour obtenir des mesures représentatives de chaque levé, nous avons utilisé un échantillon d'une centaine de mesures :

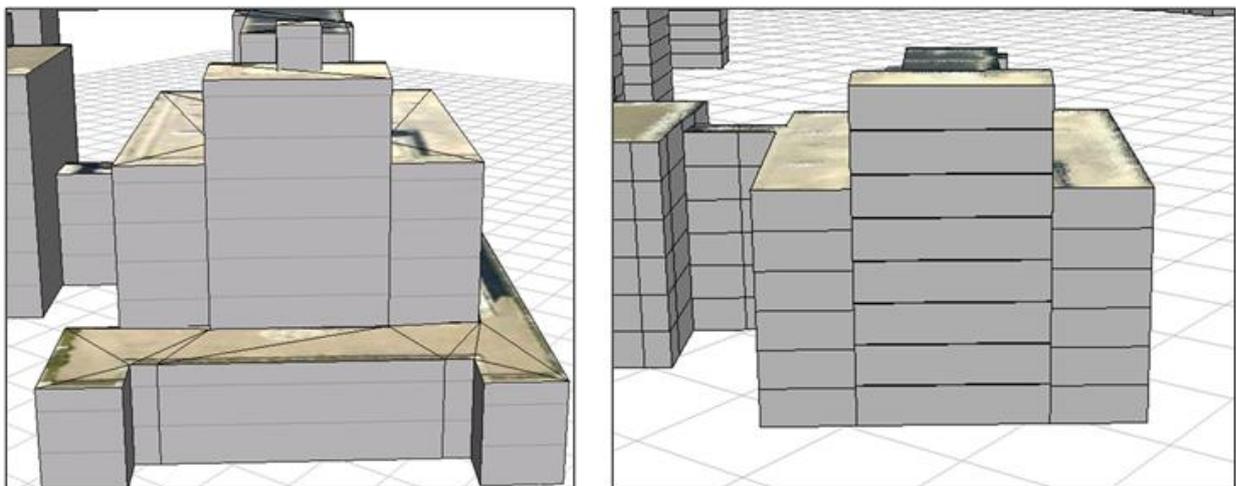
	<b>Différence plan topo/BM</b>	<b>Différence plan topo/BD topo</b>
<b>Moyenne (m)</b>	0.48	1.13
<b>Ecart type (m)</b>	0.23	0.44

**Tableau 2 : Résultats de comparaison entre les emprises du plan topographique et celles de la BD Topo et de BM**

Les résultats correspondent aux précisions annoncées par les fournisseurs des données

Nous constatons que le levé photogrammétrique réalisé par BM est plus précis que la BD Topo, mais ces deux levés restent grossiers par rapport au levé topographique.

Le levé de BM présente cependant un avantage : les toits sont plus détaillés et chaque surface de toit est représentée avec son altitude propre :



**Illustration 18 : Comparaison des détails du levé de BM et de la BD TOPO**

A gauche un bâtiment issu du levé de BM, à droite le même bâtiment issu de la BD Topo.

Le levé de BM est beaucoup plus détaillé et donc plus réaliste.

### III.3 Modélisation des réseaux enterrés

L'ESID a lancé une campagne de géo-localisation de ses réseaux depuis quelques années. Les réseaux géoréférencés sont introduits dans le SIG.

Pour la réalisation d'un projet, il serait intéressant de se rendre compte des réseaux présents sur le site. Pour rendre cette information intéressante dans une maquette 3D il faut la modéliser en volume. Les réseaux géoréférencés dans le SIG de l'ESID sont en 2D. La précision de ces réseaux varie du décimètre au mètre. Une information d'altitude peut être présente dans la table attributaire du réseau.

Le logiciel ArcScene permet une représentation en 3D de tube. Ainsi, en intégrant un réseau 2D et en lui associant une symbologie de tube 3D, une canalisation est créée.

Il faut gérer le délicat problème de l'altitude. Le réseau n'étant pas construit en 3D, il ne peut pas être intégré tel quel dans la maquette. Un champ altitude est renseigné dans la table attributaire du réseau où, le cas échéant, des points singuliers sont renseignés dans une couche à part. Pour attribuer une altitude au réseau 2D l'idée retenue consiste à créer un TIN avec uniquement les points cotés en altitude du réseau.

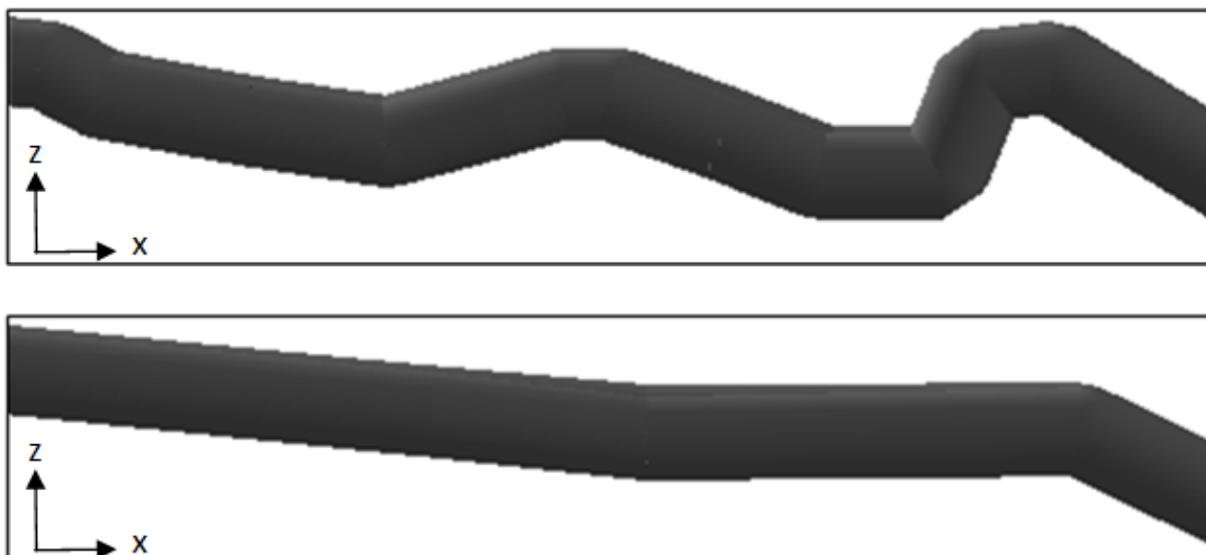
Cette solution est pour le moment infaisable car il y a trop peu de points renseignés en altitude sur les réseaux. Un marché de détection a été conclu dans lequel un point d'altitude doit être renseigné tous les 10 mètres, à la réception de ces données la solution sera exploitable.

Pour parer à ce problème, une solution serait d'attribuer une valeur arbitraire en dessous du terrain naturel lorsque l'altitude du réseau est absente. Cette parade est limitée car il serait impossible de différencier les parties du réseau placées à une altitude réelle et les parties du réseau placées à une altitude fictive.

La dernière solution, la plus simple, consiste à placer tout le réseau à une altitude fictive. Même si l'altimétrie du réseau est approximative, la position planimétrique est, elle, bonne (fonction de la précision du levé). Au vue de la faible quantité de points connus en altimétrie, cette dernière solution est celle retenue par la suite.

La maquette comportera donc des réseaux enterrés placés à une altitude fictive sous le terrain. Il faudra en informer les utilisateurs de la maquette.

La fonction de base qui permet d'aligner le réseau sur le terrain s'intitule « interpoler les formes » dans ArcScene. Par défaut cette fonction aligne le réseau strictement au terrain. Le rendu n'est pas vraisemblable. En choisissant l'option « interpoler les sommets uniquement » le rendu est plus réaliste.



**Illustration 19 : Vue de profil du réseau**

Au dessus le réseau strictement aligné au terrain, en dessous le réseau avec uniquement les sommets alignés.

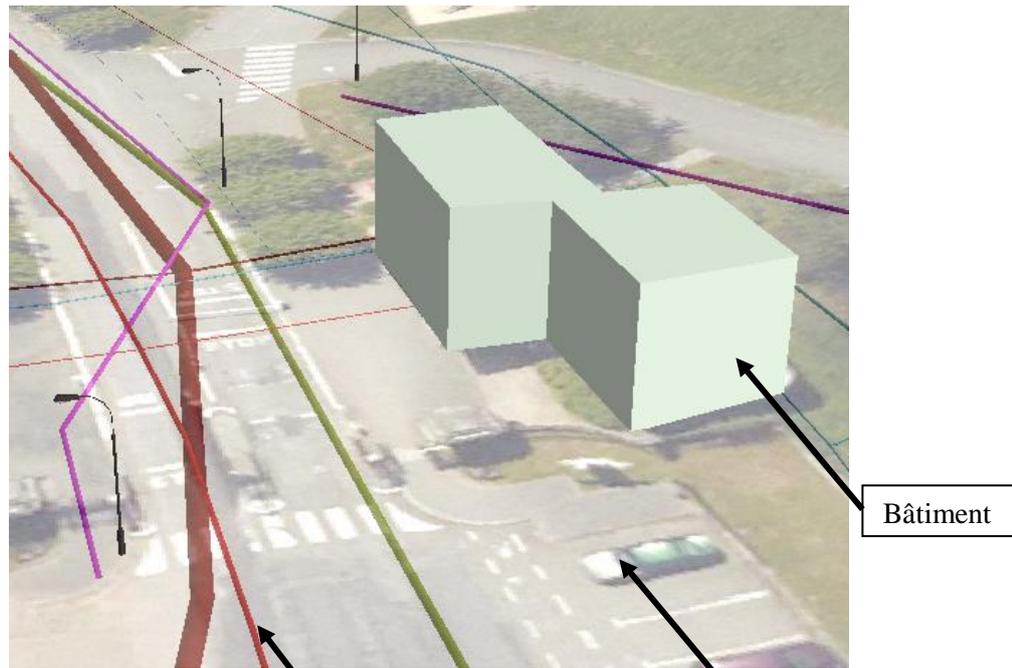
Les réseaux qui peuvent être intégrés à la maquette 3D sont les suivants :

- Adduction en Eau Potable (AEP)
- Eaux Pluviales (EP)
- Eaux Usées (EU)
- Eclairage public
- Electricité (haute et basse tension)
- Eaux industrielles, grises
- Télécom
- Hydrocarbures
- ...

Chaque réseau doit être différencié pour éviter de les confondre. Les couleurs standards utilisées en VRD seront choisies pour la représentation.

Le diamètre de la conduite est également important. Pour les réseaux de fluides, cette information est renseignée en millimètre dans leur table attributive. Pour lier le diamètre d'un tuyau en 3D à un attribut il est nécessaire que ce dernier soit renseigné en mètre. En créant un nouveau champ et en l'associant à la symbologie ce rendu est possible. Le résultat est plutôt satisfaisant, bien que des améliorations soit encore à apporter.

Pour les réseaux électriques, une information sur la tension circulant dans le réseau est fournie dans la table attributive. Un diamètre se rapprochant de la réalité sera attribué en fonction de la tension.



**Illustration 20 : Vue oblique d'une maquette**

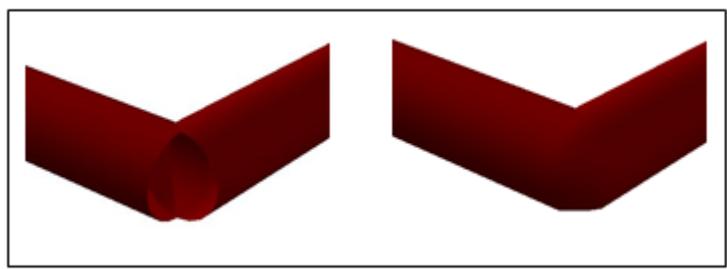
Réseaux enterrés 3D  
(sous le terrain)

Terrain 3D (en  
transparence)

Bâtiment

L'altitude des réseaux étant arbitraire, certains se croisent. Cela entache le réalisme de la modélisation des réseaux mais ne pose pas de problème (Nous n'effectuons pas de calcul sur la cohérence entre les réseaux).

Les jonctions entre deux canalisations ne sont pas représentées. Une opération de fusion peut être réalisée pour parer ce problème : en fonction du diamètre de la canalisation les différentes canalisations de la couche sont fusionnées. Ainsi le rendu est plus propre. Le problème persiste cependant aux jonctions entre deux canalisations de diamètre différent.



**Illustration 21 : Canalisation sans liaison/avec liaison**

Suite à cette fusion l'esthétique est améliorée mais tous les autres attributs des objets sont shuntés : si deux canalisations ont le même diamètre mais sont constituées d'un matériau différent, après la fusion cet attribut n'apparaîtra plus. Il faut faire un choix entre une esthétique plus fine et des données plus complètes.

La création de ces réseaux est une tâche qui peut vite devenir rébarbative et qui peut faire l'objet d'automatisation. Plusieurs possibilités sont envisageables pour cela avec ArcGIS :

- L'utilisation de « Model Builder » : ces modèles permettent de concaténer plusieurs outils ArcGIS pour obtenir une séquence d'outils qui s'exécuteront les uns à la suite des autres.



Figure 4 : Principe de fonctionnement des « Model Builder »

- L'utilisation de la programmation en langage Python pour créer un script accédant à la banque d'outils ArcPy

La première possibilité sera retenue pour ce projet car plus intuitive à mettre en œuvre. Lorsque des calculs importants interviennent dans les traitements, la programmation peut être plus facile à mettre en œuvre.

Ainsi les opérations nécessaires à la création de chaque réseau sont assemblées. L'utilisateur n'a plus qu'un seul outil à lancer dans lequel tous les paramètres sont à renseigner.

Pour les réseaux de fluides les traitements suivants sont réalisés sur la couche 2D, le passage en 3D intervient dans les dernières étapes.

- Découpage du réseau aux limites d'emprise de la zone étudiée ;
- Sélection des parties du réseau dont le diamètre n'est pas renseigné ;
- Ajout d'une valeur arbitraire à ces parties de réseau ;
- Ajout d'un nouveau champ diamètre en mètre ;
- Calcul du champ diamètre en mètre ;
- Alignement du réseau sous le terrain à une altitude fixe (par rapport au terrain) ;
- Application d'une symbologie adaptée au type de réseau.

Pour chaque type de réseau une symbologie doit donc être créée, dont la principale variation pour les réseaux fluides est la couleur. Les réseaux électriques héritent d'un attribut de tension circulant dans le câble auquel nous fixons un diamètre réaliste : plus la tension est élevée, plus le diamètre est important.

### III.4 Modélisation de mobilier urbain

L'ESID dispose d'une base de données contenant des informations sur la position du mobilier urbain. De la même façon que pour les réseaux, nous allons réaliser des outils permettant l'import dans une maquette 3D de mobiliers urbains géo-référencés dans les bases de données. Cette partie peut paraître d'importance minime, mais apporte du réalisme à la maquette. Nous avons traité deux couches de mobilier urbain : les équipements d'éclairage public et les bouches d'incendies. Seule la création de l'outil de modélisation des équipements d'éclairage public sera développée, les autres outils fonctionnant sur le même principe.

Les équipements d'éclairage public sont représentés dans le SIG de l'ESID par des classes d'entité de points. La table attributaire donne de nombreux éléments d'information pour chaque point comme le type de luminaire, la classe de précision, l'altitude et la hauteur de l'équipement.

Contrairement aux réseaux créés précédemment, nous ne nous soucierons pas de l'altitude de l'objet. Ces équipements doivent être alignés sur le sol pour obtenir un rendu esthétique correct. Si le terrain est modélisé avec une précision acceptable, la différence entre l'altitude du point aligné sur le terrain et l'altitude réel du point sera minime.



Illustration 22 : Borne de jardin non alignée / alignée avec le sol

De la même façon que pour la création des réseaux enterrés, il faut commencer par ajuster la couche de points à l'emprise de la maquette 3D à créer. Il faut ensuite aligner ces points au terrain (TIN) de la maquette. A ce stade il s'agit encore de simples points. La dernière étape consiste à associer une symbologie à la couche de point.

La symbologie associée à cette couche est associée à un champ « type d'éclairage ». L'ensemble des modèles de candélabres sont répertoriés dans ce champ. Nous associons donc un symbole 3D ressemblant à chaque modèle. La symbologie créée est enregistrée au format .lyr.

Ces étapes sont assemblées dans un Model Builder, ainsi un outil est créé pour ajouter une couche de luminaire à une maquette 3D de manière automatisée.

Un aspect de la représentation ne peut pas être géré : l'orientation des candélabres. Certains modèles de candélabres devraient, pour être placés de façon optimale, être orientés. La table attributaire

des candélabres ne contient pas d'information à ce sujet, nous ne pouvons pas l'inventer. Les lampadaires seront donc mal orientés pour la plupart.

De la même manière, nous avons créé un outil de modélisation des arbres sur la maquette.



**Illustration 23 : Comparaison réalité/ maquette**

A gauche photographie, à droite vue de la maquette.

L'ajout de mobiliers urbains et des arbres dans la maquette 3D offre une bonne représentation de la réalité. Même si des détails ne sont pas résolus comme par exemple l'orientation des candélabres, les objets ajoutés permettent de meubler la surface de la maquette en augmentant ainsi le réalisme.

### **III.5 Import de mesures au scanner 3D**

Les bâtiments aux façades complexes sont difficiles à redessiner manuellement en 3D. La solution pour les représenter plus fidèlement que par un bloc uniforme est d'effectuer des mesures au scanner laser. Nous allons donc dans cette partie traiter un nuage de points et tester l'import et l'utilisation dans une maquette 3D.

#### **III.5.1 Import de nuages de points dans la maquette**

Les nuages de points issus du scanner 3D sont, après nettoyage et export, au format .pts. C'est un format propriétaire de Leica. Le fichier est composé de la position de chaque point en X, Y, Z, de la radiométrie et de la couleur du point en RGB. Un petit utilitaire permet de les convertir en fichier .LAS qui peut être importé dans ArcScene. Les points sont effectivement placés dans l'espace mais les informations concernant la radiométrie et la texture sont shuntées.

La conversion du fichier .pts en fichier .txt permet de l'ouvrir sur ArcScene en conservant tous les attributs cette fois. Il peut ainsi être converti en Géodatabase et importé sur CityEngine.

L'import sur CityEngine est simple, cependant le logiciel digère mal les gros nuages de points. CityEngine est prévu pour gérer au maximum quelques dizaine de milliers d'objets, pas plus (60 à 70 000 objets). Or il n'est pas rare qu'un nuage de points dépasse le million d'éléments. Le logiciel a donc beaucoup de mal à intégrer un nuage de points, même modeste (120 000 points).

En revanche, dans ce logiciel il est possible d'appliquer une règle procédurale pour attribuer à chaque point la couleur contenue dans la table attributaire ce qui permettrait d'obtenir un rendu texturé visuellement intéressant. Il faut cependant que le nuage de points soit assez dense pour limiter les trous mais pas trop pour rester gérable par le logiciel.

Même si le logiciel permet une exploitation intéressante de la texturation des points, il n'est pas réaliste d'utiliser CityEngine pour manipuler des nuages de points dans une maquette 3D aux vues des performances de ce logiciel.

Le logiciel ArcScene gère beaucoup mieux les gros nuages de points. Cependant il ne permet pas d'appliquer à un point une couleur contenue dans sa table attributaire. La couche de points apparaît avec une symbologie unique. Les options en matière d'attribution de couleur sont limitées. Il est cependant possible de passer par un script python ou VBA pour effectuer l'opération. Un autre moyen possible est l'utilisation de l'option « Entités issues de règles CityEngine » incluse dans l'extension 3D Analyst.

Après plusieurs tests, nous avons constaté que l'import d'un nuage de points dans ArcScene se passe mal : le logiciel gère assez bien le nuage seul, mais dès qu'il est introduit dans une maquette complète contenant d'autres objets, il rame. Les façades levées avec une grosse densité de points sont bien représentées mais il y a forcément dans un nuage de points des zones cachées où l'information est absente. Par exemple un coin caché par de la végétation ou le toit masqué d'un bâtiment ... Le rendu est donc incomplet. Si le levé au scanner laser est complet et suffisamment dense pour obtenir un bâtiment entier (toit et façades), alors le rendu sera visuellement bon. La capacité des machines limiterait alors l'exploitation des nuages : un nuage serait intégrable, mais la modélisation d'un site comprenant quelques dizaines de bâtiments serait inexploitable.

Pour intégrer des données issues de mesures au scanner laser 3D dans une maquette 3D il faut traiter le nuage de points avant de l'importer. Pour cela il est nécessaire d'utiliser des logiciels spécifiques. Nous avons dans la partie suivante testé 3DReshaper.

### **III.5.2 Import du nuage de points après traitement : le maillage**

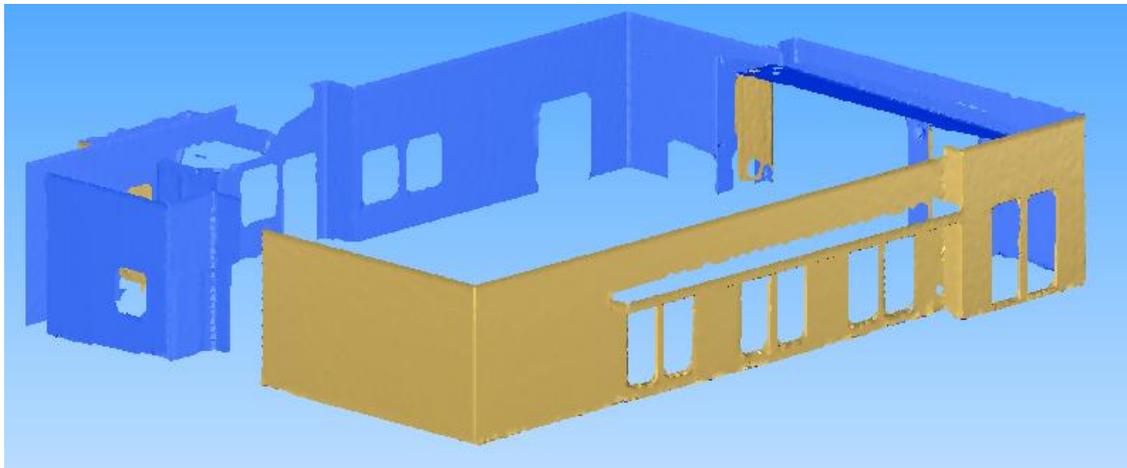
#### **III.5.2.1 Maillage du nuage de points**

Depuis la démocratisation des mesures au scanner 3D, des logiciels de traitement de nuages de points ont été développés. Ces logiciels permettent de créer un maillage qui présente un rendu continu du nuage de points. Le temps de traitement, la qualité, le poids du rendu vont être évalués pour le traitement d'un nuage de point. L'objectif de cette étude étant d'intégrer le maillage dans la maquette 3D du site. Pour ce faire, nous avons utilisé une version d'évaluation du logiciel 3DReshaper développé par la société Technodigit.



**Illustration 24 : Nuage de point nettoyé**

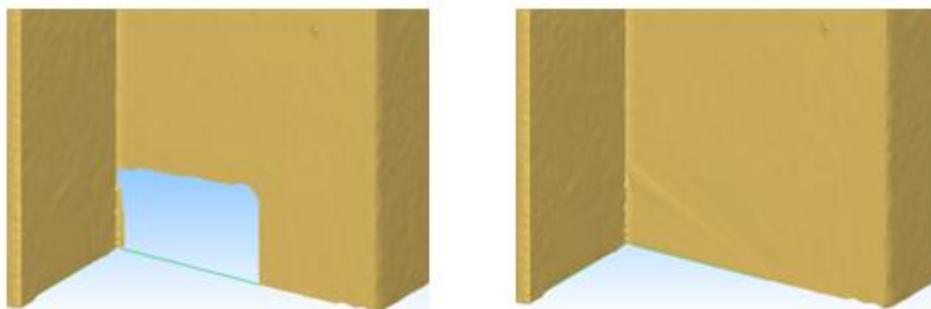
Une fois le nuage intégré dans le logiciel, il faut d'abord commencer par le nettoyer si ce n'est pas déjà fait. Un premier maillage peut ensuite être créé. Ce maillage n'est pas satisfaisant car de nombreux trous sont présents et il n'est pas texturé.



**Illustration 25 : Premier maillage obtenu dans 3DReshaper**

Le logiciel 3DReshaper propose de nombreux outils pour nettoyer le maillage, reboucher les trous, joindre des contours, affiner les arêtes.

L'exemple ci-dessous montre comment le logiciel permet de reboucher un trou causé par la présence d'un obstacle.



**Illustration 26 : Rebouchage de trou sur 3DReshaper**

Après avoir passé une demi-journée à travailler sur le maillage un résultat satisfaisant est obtenu. En zoomant sur certaines parties des imperfections sont remarquables, cependant pour l'utilisation dans une maquette 3D, le résultat est suffisant. Les encastrement de fenêtres sont notamment mal représentés. La résolution d'acquisition utilisée lors du levé au scanner 3D est insuffisante pour obtenir un rendu très fin.

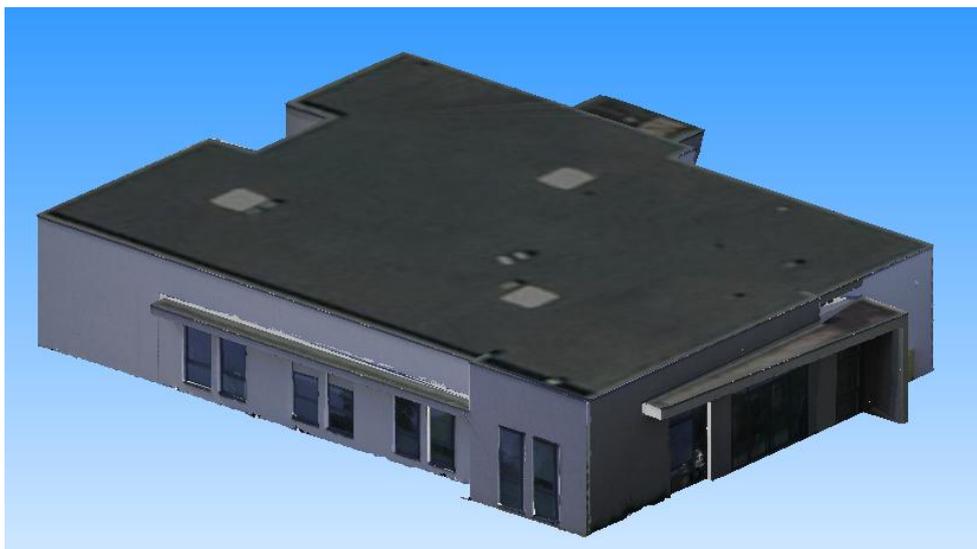


**Illustration 27 : Maillage nettoyé et rebouché sur 3DReshaper**

Pour obtenir un rendu plus réaliste, il faut maintenant plaquer des photographies sur le maillage. Le logiciel 3DReshaper permet d'effectuer cette opération. Pour ce bâtiment nous avons utilisé 7 clichés pris au sol et un extrait d'orthophotographie. L'opération est simple, il suffit de positionner des couples de point communs à la fois sur le maillage et sur la photographie. Cette opération permet de calculer les paramètres externes de l'appareil photo (position et l'orientation) ainsi que les paramètres internes (distance focale, taille des pixels,...).

Comme notre travail ne nécessite pas une grande précision, nous nous contenterons de quatre à six couples de points par cliché.

Des imperfections sont relevés sur le résultat final : de la texturation est absente de petites zones, le maillage est grossier par endroit et représente mal la zone (en bordure de fenêtre par exemple). Cependant le résultat de ce travail offre une représentation satisfaisante pour les besoins que nous avons.



**Illustration 28 : Rendu final 3DReshaper**

La qualité de ce travail dépend de plusieurs paramètres : la densité de point levés avec le scanner laser, la qualité des photos utilisées pour la texturation, le nombre de couples de points d'appareillage utilisé par photos,... Autant de paramètres qui permettent d'améliorer le rendu au besoin.

### III.5.2.2 Export/import du maillage

Pour les travaux à réaliser, nous souhaitons exporter le maillage texturé, pour l'intégrer en tant que bloc texturé dans notre maquette 3D. Le logiciel 3DReshaper permet d'exporter dans plusieurs format de fichier, cependant seul deux permettent l'export de la texture : le format .OBJ et le format .wrl.

En exportant le maillage directement dans le format .wrl, le logiciel crée un fichier volumineux (plusieurs dizaine de Mo) qui peut poser problème pour l'import dans une autre interface. Au format .OBJ, le logiciel crée plusieurs fichiers (le maillage est découpé). Il est préférable, avant l'opération d'export, de réduire le maillage dans le logiciel 3DReshaper. Après cette opération le fichier exporté atteint un volume plus raisonnable (quelques Mo) en conservant une qualité de rendu acceptable.

Les logiciels utilisés pour créer la maquette (CityEngine, ArcScene) peuvent intégrer les formats proposés à l'export du maillage par 3DReshaper.

Les essais d'intégration du maillage ne sont pas concluant :

- Sur CityEngine la texture n'apparaît pas, le maillage est grossier. Le rendu n'est pas fidèle au rendu obtenu sur 3DReshaper.

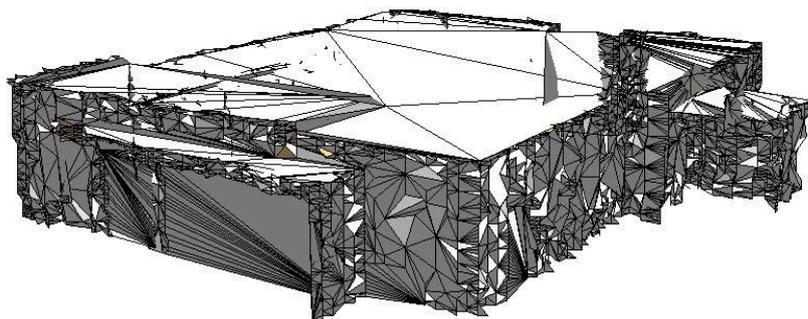
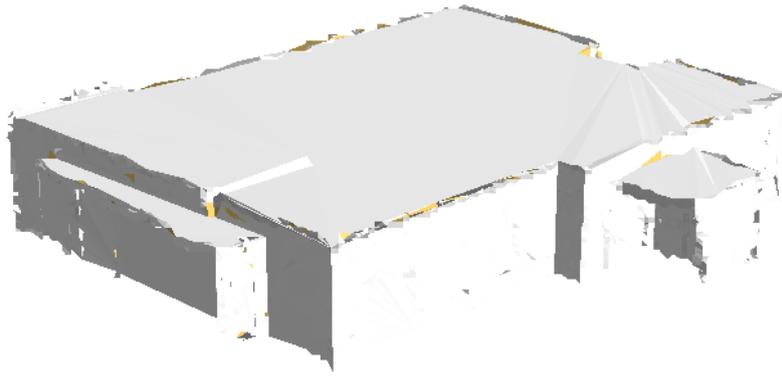


Illustration 29 : Fichier OBJ issu de 3DReshaper après import dans CityEngine

- Sur ArcScene le rendu n'est pas fidèle au rendu obtenu sur 3DReshaper. Plusieurs possibilités sont envisageables pour l'import de fichier .wrl et .OBJ dans ArcScene, avec un résultat identique. Les textures sont absentes. Le maillage est grossier, de qualité équivalente à celui de CityEngine.



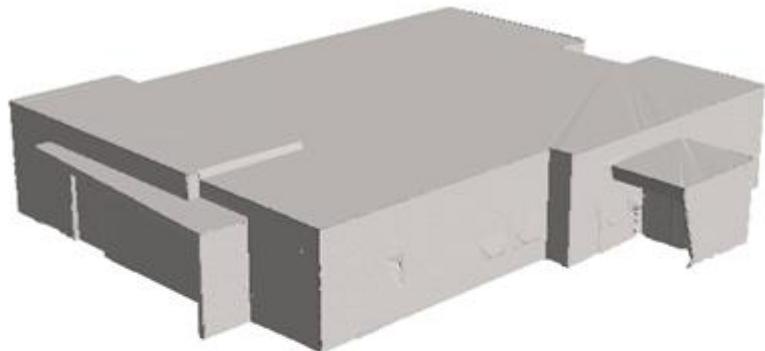
**Illustration 30 : Fichier OBJ issu de 3DReshaper après import dans ArcScene**

Il y a manifestement des problèmes de compatibilité entre les formats d'export de 3DReshaper et les formats d'import de CityEngine et d'ArcScene. Ces deux logiciels disposent pourtant de fonctions d'import intégrant les formats testés. La qualité du rendu est nettement dégradée par rapport à celle obtenue sur 3DReshaper.

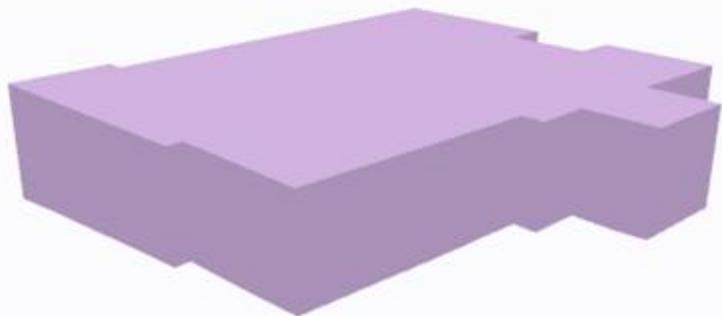
Pour obtenir un objet fidèle au maillage créé sur 3DReshaper, nous sommes obligé de passer par l'utilisation du logiciel FME. En créant un outil de conversion du format .OBJ au format .SHP (Multipatch pour conserver la texture) le maillage peut alors être intégré dans la maquette 3D.

L'outil créé est très simple, aucune modification manuelle du fichier n'est nécessaire.

Fichier OBJ issu de 3DReshaper après conversion par FME et import dans ArcScene



Bâtiment après extrusion d'une emprise 2D



**Illustration 31 : Comparaison levé au scanner 3D/ extrusion d'emprise**

Le maillage obtenu est bien conforme à ce que nous avons obtenu avec 3DReshaper. Cependant la texture n'est, une fois de plus, pas intégrée.

Le volume représenté est beaucoup plus fin qu'un volume extrudé depuis une emprise simple. Les débordements de toit, les marches et le SAS d'entrée sont fidèlement affichés.

Lors de l'export au format .OBJ, plusieurs fichiers sont créés :

- Un fichier .OBJ contenant le maillage
- Des fichiers JPG contenant les textures
- Un fichier .mtl (Material Template Library) contenant le lien entre les textures et le maillage, et les paramètres de réflexion optique.

Le problème des textures vient du fait que les fichiers .mtl ne sont pas interprétés par les logiciels que nous utilisons. Les logiciels aptes à l'interpréter sont d'ailleurs peu nombreux : Adobe Photoshop, MeshLab, Maya, Unity.

Nous ne pouvons donc pas exploiter notre travail de texturation 3DReshaper sur les logiciels utilisés pour créer la maquette 3D à l'ESID de Brest.

### **III.5.3 Conclusion sur l'import de mesure au scanner 3D**

Les essais pour intégrer des mesures au scanner laser 3D dans une maquette 3D ne sont pas concluants. Les logiciels ne sont pas adaptés pour l'import d'un tel nombre de points, ce qui nécessite un gros travail de traitement antérieur à l'intégration. Le nettoyage du nuage de points, les opérations nécessaires au bouchage de trous sont des opérations longues et fastidieuses. Après ces manipulations l'objet 3D peut être intégré. Le volume est bien représenté mais les textures ne fonctionnent pas. De plus aucune de ces tâches ne peut être automatisée. Le rendu plus fin se paye par un travail de préparation beaucoup plus long qui s'ajoute au temps de levé sur le terrain. Cependant dans le cas où une bonne précision pour modéliser des bâtiments est nécessaire, cet outil est très utile. Le scanner pourrait être utilisé dans l'exemple traité en fin de rapport sur une simulation d'inter-visibilité.

### **III.6 Intégration de projet 3D dans la maquette**

La maquette 3D créée est, entre autre, une aide à la décision dans le cadre de projet futur. Il faut donc pouvoir y intégrer les projets créés en 3D avec d'autres logiciels.

Comme nous l'avons vu dans la partie « Export/import du maillage », bien que les logiciels ArcScene et CityEngine proposent de multiples formats d'imports, le résultat est rarement concluant. Seul le format propriétaires d'ESRI fonctionne vraiment bien entre ces applications : le format Shape File. Les Géodatabases fonctionnent également bien, cette plate-forme permet d'ailleurs l'intégration de bâtiments créés avec CityEngine dans ArcScene.

Nous allons nous intéresser ici à un format en pleine démocratisation : l'IFC. Ce format est en train de se généraliser avec l'explosion du BIM. Ce format répond aux exigences d'une norme internationale ISO. Il sera donc omniprésent dans les projets des années à venir.

Disposant de l'extension « Data Interoperability » dans ArcGIS, le projet peut être intégré comme une donnée standard dans une maquette. Cependant, le logiciel interprète mal le format : de manière aléatoire le logiciel intégrera tout le bâtiment, seulement quelques murs ou rien du tout. Cette opération est très instable.

Pour réaliser l'opération nous sommes donc passés par le module FME Data Interoperability et la création d'un outil de conversion du format IFC vers le format Shape file Multipatch.

La manipulation consiste à rassembler l'ensemble des couches du fichier IFC dans une unique couche SHP. Il faut également trier les couches, certaines n'apporte aucune information pour la visualisation de l'objet dans la maquette 3D.

Le rendu est fidèle au fichier IFC de départ et est beaucoup plus maniable (calcul et opération possible) cependant les attributs des éléments de l'objet sont perdus.

Bien que CityEngine et ArcScene puissent théoriquement importer directement un grand nombre de formats 3D, dans la pratique cela fonctionne rarement bien. Il est souvent nécessaire de passer par le module FME Data Interoperability pour réaliser un changement de format et ensuite intégrer l'objet. Comme nous venons de le voir, c'est le cas pour le format IFC mais également pour d'autres formats 3D comme l'OBJ (vu précédemment), le DAE (Collada),...

## IV Exemple d'utilisation d'une maquette 3D à l'ESID de Brest

### IV.1 Export et diffusion de la maquette

Le logiciel CityEngine propose d'exporter les maquettes dans un format .3ws qui permet une visualisation de la scène sur un navigateur web. Cet export est rendu possible par les évolutions technologiques récentes : la normalisation du W3C<sup>2</sup> autour de WebGL<sup>3</sup>. Cette spécification permet la prise en charge des capacités 3D des cartes graphiques par les navigateurs web.

L'avantage est que ces applications web 3D ne nécessitent pas l'installation d'un plugin (plugin installé d'origine dans Firefox). Ainsi n'importe quel utilisateur peut avoir accès et se déplacer dans la maquette 3D, même s'il n'a pas le logiciel natif de la maquette.

La création de Web Scene fonctionne parfaitement depuis CityEngine.

Un outil de conversion existe sur ArcScene pour exporter une maquette conçue sur ArcScene dans une Web Scene CityEngine (même si l'on n'a pas CityEngine).

Lors d'essai de conversion de maquette ArcScene en Web Scene, nous nous sommes rendus compte que beaucoup de couches présentes dans ArcScene n'apparaissent pas dans la Web Scene. Seules les couches raster sont affichées. Les couches sont bien présentes dans la table des couches mais ne sont pas affichées sur la maquette.

L'aide ArcGIS indique des prescriptions pour l'utilisation de l'outil : les entités ponctuelles ou linéaires dessinées en 2D ne sont pas affichées dans les Web Scene. Cependant, dans notre cas, les couches qui n'apparaissent pas sont bien en 3D.

Après plusieurs tests nous avons découvert que le problème vient du symbole décimal indiqué dans les paramètres de la machine. ArcGIS et CityEngine sont des logiciels américains où le symbole décimal est le point. En France, par défaut les ordinateurs ont la virgule comme symbole décimal. En modifiant dans le panneau de configuration de l'ordinateur le symbole décimal et en réexportant la maquette, toutes les couches 3D sont affichées dans la Web Scene.

Nous avons également constaté que les Web Scene très chargées (nombreuses couches) n'étaient pas très fluides une fois postées sur le serveur de l'ESID.

---

<sup>2</sup>W3C : World Wide Web Consortium est un organisme chargé de promouvoir la compatibilité des technologies du World Wide Web.

<sup>3</sup>WebGL est une spécification d'interface de programmation de 3D dynamique pour les pages et applications HTML5 (format de données utilisé pour représenter les pages web).

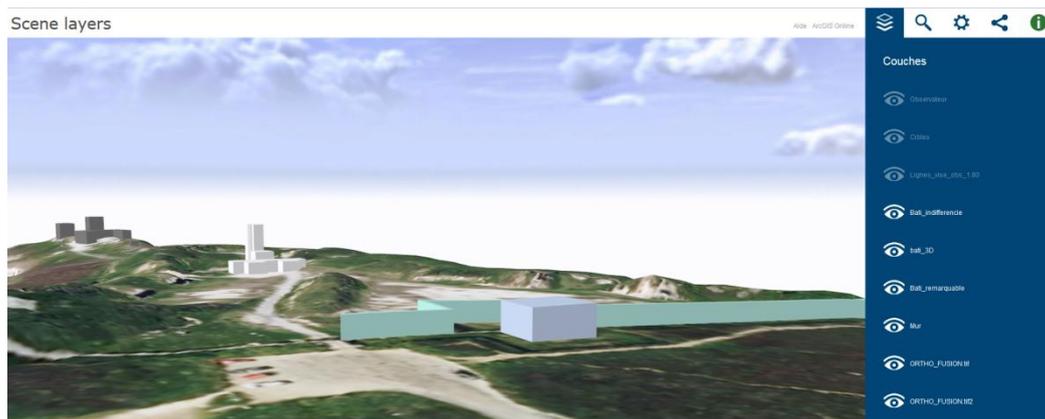


Illustration 32 : Interface de Web Scene CityEngine

## IV.2 Simulation

Un des avantages de l'utilisation du logiciel ArcScene pour la construction de la maquette 3D est le fait que de nombreuses possibilités de calcul sont réalisables, contrairement à CityEngine. Ce dernier ne propose que des simulations d'ensoleillement.

### IV.2.1 Simulation d'inter-visibilité entre objets

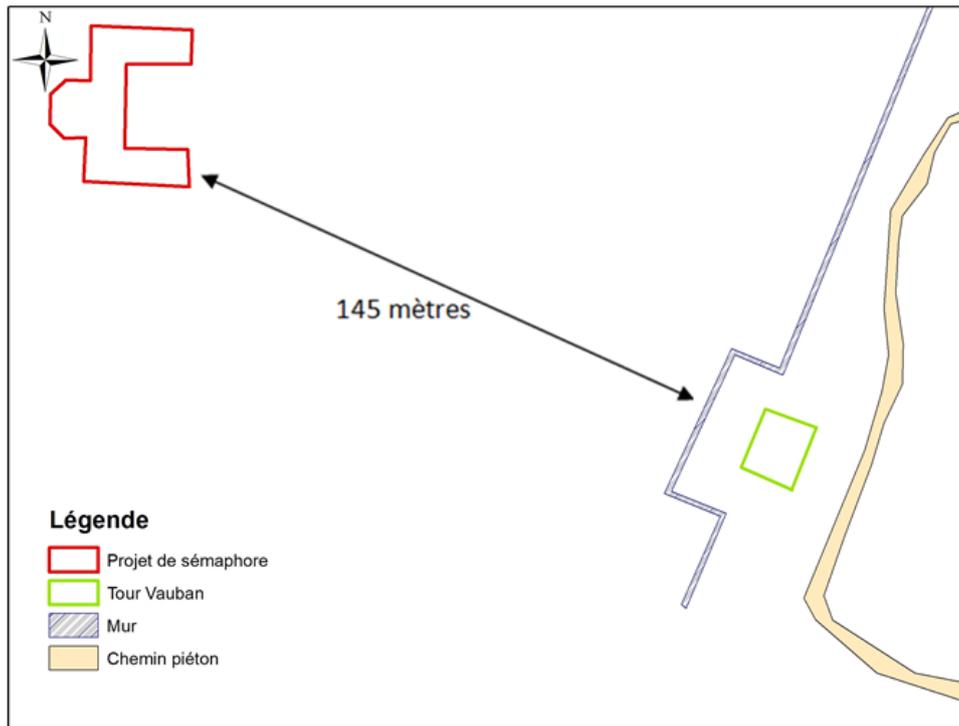
L'extension 3D Analyst de ArcGIS, nécessaire pour utiliser le logiciel ArcScene comprend un outil nommé « Visibility ». Cet outil permet de faire des calculs d'inter-visibilité dans une maquette 3D.

Le principe est simple :

- Création d'une couche point 3D contenant la position de l'observateur ;
- Création d'une couche point 3D contenant les positions des cibles ;
- Création des lignes de vue (ligne observateur/cible) ;
- Calcul d'un champ visibilité (« 0 » l'observateur et la cible ne se voient pas, « 1 » ils se voient) et ajout d'une symbologie adaptée.

Cet outil permet également de déterminer la position de la ligne d'horizon d'un point de vue. L'utilité de ce module combiné à une bonne maquette 3D est incontestable pour l'ESID de Brest. Nous avons pu le constater sur un exemple concret : le sémaphore du Toulinguet.

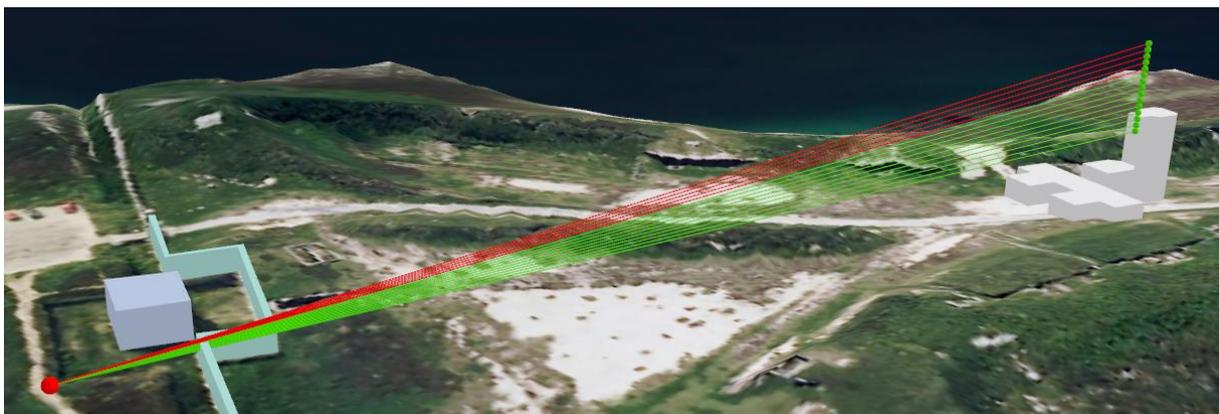
Ce sémaphore est placé à la pointe Ouest de la presqu'île de Crozon. Depuis plusieurs années la mer érode la falaise. Aujourd'hui, le phénomène a tellement progressé que le sémaphore n'est plus qu'à quelques mètres du vide. Il est donc nécessaire de déplacer ce bâtiment. Le choix de l'emplacement du nouveau bâtiment est contraint par la présence à proximité d'une tour construite par Vauban, classée monument historique. L'architecte des bâtiments de France interdit toute visibilité entre le chemin passant à proximité de la tour et la chambre de veille du sémaphore (partie haute). Un mur d'une hauteur de 3 mètres dissimule en partie le sémaphore, mais compte tenu de la hauteur de la chambre de veille des tests sont à réaliser. Il faut que cette dernière soit suffisamment haute pour l'activité de surveillance du sémaphore mais pas trop pour ne pas être visible du sentier côtier (GR34).



**Illustration 33 : Plan de site du projet de sémaphore du Toulinguet**

N'ayant jusqu'à maintenant pas de maquette 3D du site, la solution envisagée pour déterminer la hauteur de la chambre de veille du sémaphore était la prise de photographie depuis une nacelle embarquant un système GNSS pour déterminer l'altitude de chaque cliché. Ce processus est coûteux en temps, en matériel et est difficile à mettre en œuvre.

Dans un cas comme celui-là, l'utilisation d'une maquette en 3D et de l'outil Visibilité d'ArcScene prend tout son sens. Il peut être nécessaire de réaliser un levé topographique précis (éventuellement au scanner laser) des éléments importants du terrain et des bâtiments pour améliorer la précision du calcul d'inter visibilité.



**Illustration 34 : Simulation d'inter visibilité avec le projet de sémaphore du Toulinguet**

## IV.2.2 Simulation d'une inondation

L'ESID de Brest gère de nombreuses installations portuaires dont certaines très sensibles (Sous-marins nucléaires). La catastrophe de Fukushima en 2011 nous a montré les dégâts que pouvait causer une montée des eaux brusque et importante sur ce type d'installations. Dans ce cadre, des mesures ont été prises pour protéger ces installations.

Pour mieux se rendre compte des dégâts engendrés par une montée des eaux, il est possible de créer des animations sur ArcScene à partir de la maquette 3D du site. Il faut dans un premier temps ajouter une couche plane qui représentera le niveau des eaux. Ensuite, grâce à l'outil « Animation » d'ArcScene, nous faisons varier l'altitude de cette couche en fonction d'un facteur temporel.

L'animation créée est ensuite exportée au format .AVI pour être diffusée.

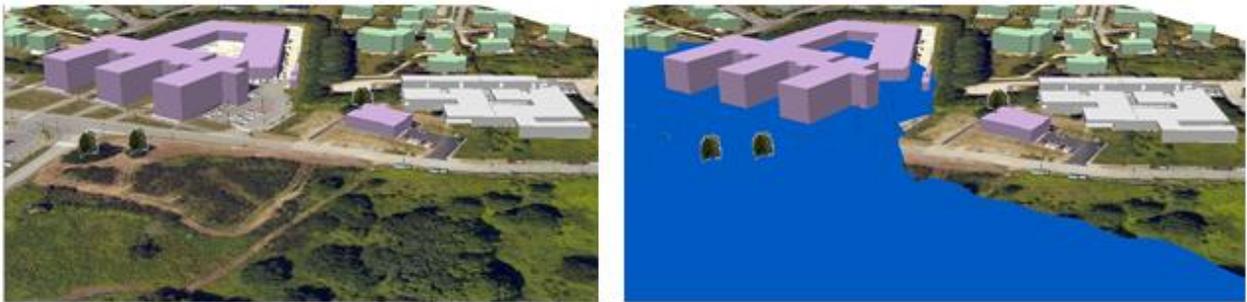


Illustration 35 : Simulation d'inondation d'un site

Cette simulation ne peut pas être lancée depuis une Web Scene, par contre il est possible de créer un film pour diffuser cette animation.

Les possibilités d'ArcScene en matière d'hydrographie sont bien plus vastes que ce que l'on teste ici. L'extension « Hydrology » permet de faire de nombreux calculs, en 2D ou en 3D.

## V Les résultats

### V.1 Bilan de l'automatisation

L'objectif de créer des processus d'automatisation de conception de maquette 3D à partir de données 2D de l'ESID a été atteint. Globalement nous avons constaté que pour les besoins de l'ESID de Brest le logiciel ArcScene est plus adapté que CityEngine pour construire une maquette 3D. L'avantage de CityEngine est de permettre un travail beaucoup plus poussé qu'ArcScene dans la modélisation des bâtiments. ArcScene permet plus de calculs, une meilleure gestion des données et combine certains avantages de CityEngine (utilisation de Web Scene). Malgré des compatibilités annoncées entre les logiciels et divers formats, nous avons constaté de nombreux problèmes d'interopérabilité.

Les organigrammes suivants résument les tâches qui permettent d'aboutir à une maquette 3D :

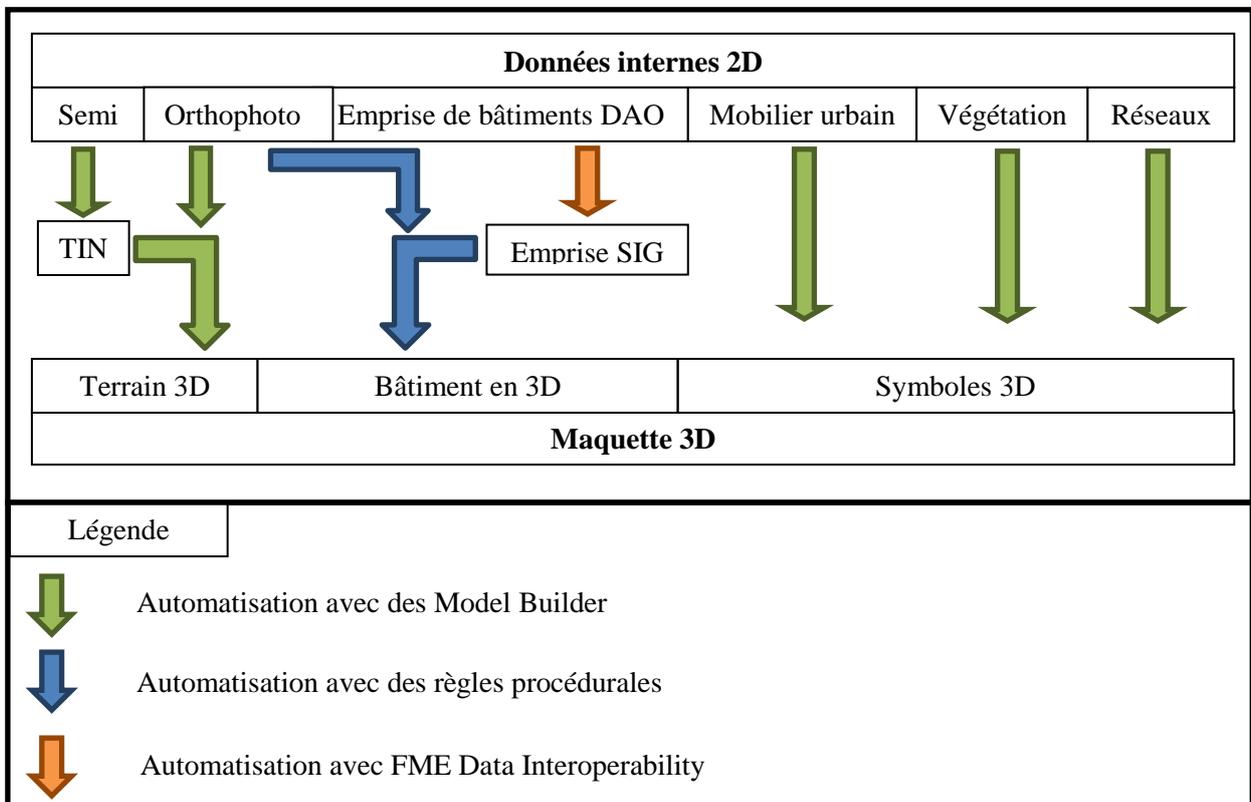


Figure 5 : L'automatisation des tâches pour la création de maquette 3D (1/2)

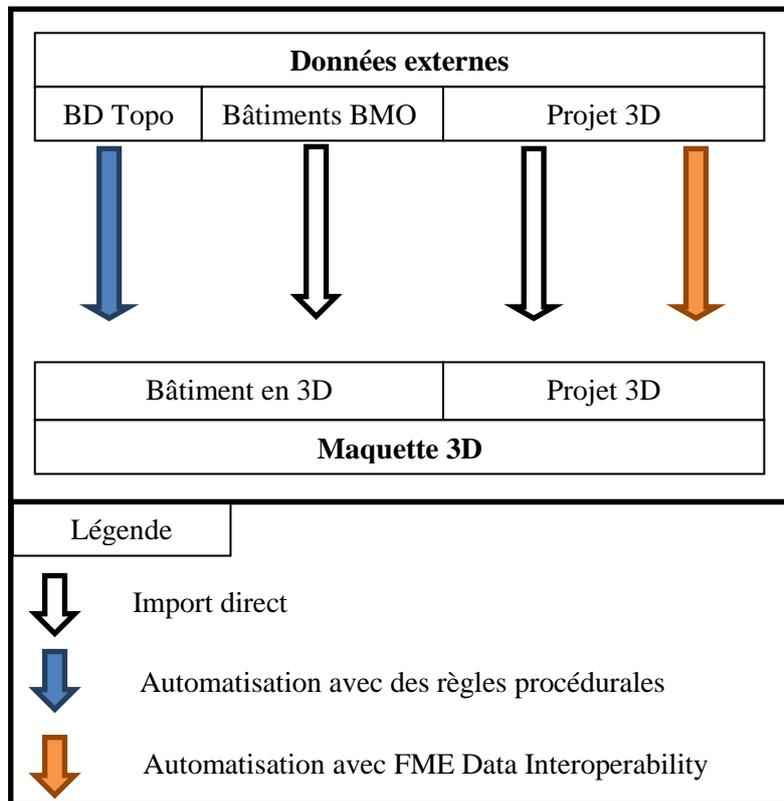


Figure 6 : L'automatisation des tâches pour la création de maquette 3D (2/2)

De nombreuses étapes ont été automatisées, cependant, l'enchaînement des étapes ne l'est pas. En effet certains projets ne nécessiteront pas l'import des réseaux ou un niveau de détails important des bâtiments. L'idée est que l'utilisateur dispose d'un certain nombre d'outils qui lui permette de créer la maquette, et suivant ses besoins il pourra les utiliser tous ou seulement une partie.

## V.2 Conclusion sur les logiciels

Les modélisations de sites en 3D réalisées au sein de l'ESID de Brest ont été faites sur deux logiciels : ArcScene et CityEngine. CityEngine est conçu pour de la représentation d'espaces urbains en 3D alors que ArcScene est plus un logiciel de SIG 3D. Après avoir passé plusieurs mois à manipuler les données sur ces deux outils, nous en avons conclu que pour les besoins de l'ESID, ArcScene est plus adapté.

CityEngine est limité en termes de nombre d'objets d'une part et de calcul sur la maquette d'autre part. A l'exception des simulations d'ensoleillement la maquette créée sur cette interface n'est que visuelle. Cependant la modélisation des bâtiments peut être très poussée sur ce logiciel.

ArcScene propose des possibilités de calcul avancées : inter visibilité, hydrologie, simulations d'inondation et ce, en plus des possibilités de requête d'un logiciel de SIG 2D classique. Les avantages de CityEngine sont compensés par l'interopérabilité entre ces deux logiciels : des bâtiments très travaillés sur CityEngine pourront être intégrés aisément dans le logiciel ArcScene. Un outil permet de créer des Web Scene CityEngine directement depuis ArcScene.

La surface de la maquette peut être limitante : nous avons remarqué qu'au-delà de 2-3Km<sup>2</sup> ArcScene à des problèmes d'affichage. La solution pour travailler sur des scènes de grande envergure serait d'utiliser le logiciel de la suite ArcGIS ArcGlobe. Les fonctionnalités sont à peu près les mêmes

mais une latence peut être constatée. Ce phénomène est dû à une modification du niveau de détails en fonction du zoom. En effet le logiciel passe toutes les couches en raster pour lui permettre de jouer sur la qualité des images en fonction de l'échelle choisie.

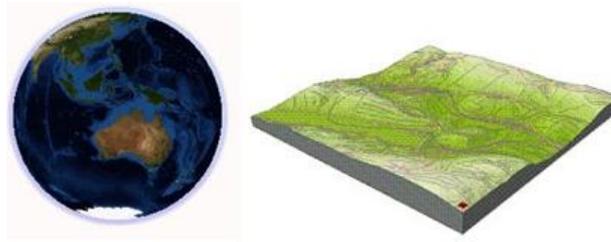


Illustration 36 : Différence entre ArcGlobe et ArcScene

Source : Ressources ArcGIS

L'esthétique de la maquette importe moins que les possibilités qu'elle peut offrir : pour une majorité des cas la possibilité de faire des calculs en 3D sera essentielle alors que la texturation des façades de bâtiments sera accessoire.

### V.3 Les pistes d'amélioration

En ce qui concerne la conversion de plan DAO en couche SIG l'outil réalisé est fonctionnel. Il permet le transfert des plans de manière automatisé. Un autre outil dans la même idée pourrait être créé pour vérifier le respect du standard de fichier de l'ESID afin d'optimiser l'exécution de l'outil créé lors de ce stage.

Par ailleurs, la création de maquette 3D a été bien abordée. Pour augmenter le réalisme des maquettes, il faudrait maintenant s'attaquer à la modélisation des voiries et trottoirs. Cette partie n'a pas été abordée lors de ce stage par manque de temps.

Des détails des objets créés peuvent également être améliorés : mettre à jours les outils pour modéliser les réseaux à une altitude réelle, lorsque l'information sera intégrée. On peut aussi penser à créer un outil de jonction du mobilier urbain jusqu'au réseau l'alimentant (luminaire ou poteau incendie).

L'ESID dispose également de données bathymétriques, il serait intéressant de les intégrer à une maquette terrestre pour améliorer la modélisation des simulations d'inondation d'espace portuaire.

Pour compléter cette étude, il serait intéressant pour l'ESID de tester d'autres logiciels que CityEngine pour la modélisation des bâtiments. Le choix de RhinoTerrain paraît évident : les collectivités qui créent des maquettes 3D sont nombreuses à l'utiliser.

Au cours de cette étude nous avons constaté que les données levées au scanner laser peuvent être intégrées dans une maquette 3D, mais la texture n'est pas prise en compte. En ce sens, cette partie peut encore être améliorée.

A plus long terme, il pourrait être intéressant de travailler sur la jonction entre les maquettes créées. Nous avons pour le moment créé des processus pour développer des modèles 3D locaux. L'utilisateur ne conçoit sa maquette que sur l'aire qui l'intéresse. Lorsque plusieurs emprises auront été réalisées il faudra penser à une méthode pour les joindre et éventuellement les visualiser d'un seul tenant.

## Conclusion

Actuellement en pleine expansion, le secteur de la 3D est un marché des plus prometteurs. Les récentes évolutions des ordinateurs et des logiciels permettent aujourd'hui de construire, d'exploiter et de mettre à jours des maquettes 3D aisément. Le seul fait de concevoir une maquette en 3D pour la communication n'est plus suffisant, nous cherchons aujourd'hui à la rendre intelligente pour effectuer des simulations.

Le Ministère de la Défense a tardé à s'y mettre. Les bases de données 2D sont pourtant très complètes : plans topographiques, emprises de bâtiments, de réseaux de mobilier urbains,... Autant d'informations que nous avons, au cours de cette étude, cherché à modéliser en 3D.

Une modélisation complète du patrimoine n'était pas envisageable au vu de son étendue. Nous avons donc créé des outils pour permettre à un utilisateur novice de créer une maquette facilement et dans un temps raisonnable.

Nous avons constaté que des solutions d'automatisation étaient développables pour passer de la 2D à la 3D. On peut donc imaginer un passage de la 2D à la 3D plus global et ainsi gérer les tâches courantes des ESID directement en 3D à long terme.

L'automatisation proposée n'est pas intégrale : l'utilisateur ajoute selon ses besoins les objets nécessaires à son étude. Le développement d'une application plus générale risquerait, pour le moment, de saturer des ordinateurs qui ne sont pas prévus à cet effet. Comme dit le proverbe : « *on n'utilise pas un canon pour tuer une mouche, mais une tapette* ».

Au cours de ce travail la plus grosse difficulté rencontrée a été l'interopérabilité entre les différents logiciels. Chaque éditeur de solution logiciel cherche à imposer son format de fichier. Il est très rare que différents formats soient compatibles. Certaines solutions existent pour créer des passerelles comme l'extension FME Data Interoperability.

A titre personnel, créer une maquette 3D du début à la fin a été captivant. De plus la réalisation de simulations sur des sites militaires m'a permis de me rendre compte directement de l'utilité du travail réalisé. La rencontre avec des professionnels des données géographiques m'a permis d'approcher les divers métiers envisageables après ma formation.

## Bibliographie

PERNOUD Justin (2010) Travail de fin d'étude du diplôme d'ingénieur ESGT : « Etude de faisabilité et réalisation d'une application permettant de convertir des données DAO 2D ou 3D en données SIG »

VANNES Nathalie (2010) Projet de fin d'étude du diplôme d'ingénieur INSA de Strasbourg spécialité topographie : « Gestion du mobilier urbain en relation avec le SIG cantonal »

GANNAT Olivier (2014) Travail de fin d'étude du diplôme d'ingénieur ESGT : « Modélisation 3D et densification de MNT »

DALSTEIN Thomas (2014) Travail de fin d'étude du diplôme d'ingénieur ESGT : « Potentialités d'un socle de données 3D pour une grande collectivité : le cas de Metz Métropole »

BORET Florian (2012) Travail de fin d'étude du Master 2 Systèmes d'Information Géographique et Aménagement des Territoires : « Mise en place de la maquette SIG 3D de Brest Métropole »

MIGNARD Clément (2013) Mémoire de thèse : « Modélisation, échange et visualisation d'objets 3D du bâtiment et d'objets urbains géoréférencés ; Application aux IFC pour la gestion technique de patrimoine immobilier et urbain »

NEUFERT ERNST 10<sup>ème</sup> édition française revue et augmentée: « les éléments des projets de construction » édition LE MONITEUR imprimé en Août 2010

LAVENU Gaëtan (2015) Arcorama (Le blog francophone consacré aux technologies ESRI) « Pourquoi un SIG 3D » disponible sur : <http://www.arcorama.fr/>

LAVENU Gaëtan (2015) Arcorama « Les modèles de données 3D dans ArcGIS » disponible sur : <http://www.arcorama.fr/>

LAVENU Gaëtan (2015) Arcorama « Conception de données 3D » disponible sur : <http://www.arcorama.fr/>

LAVENU Gaëtan (2015) Arcorama « Analyser ses données 3D » disponible sur : <http://www.arcorama.fr/>

LAVENU Gaëtan (2015) Arcorama « Visualisation et diffusion des données 3D » disponible sur : <http://www.arcorama.fr/>

GESQUIERE Gilles,DEVYS Emmanuel, VAUTIER Marie-Lise : CtiyGML : Un standard fédérateur de modélisation et d'échange de données urbaines 3D. Disponible sur : <http://www.georezo.net>

VAN BERLO Léon : CityGML Extension for BIM/IFC information disponible sur [fr.slideshare.net/berlotti/citygml-extension-for-bim-an-ifc](http://fr.slideshare.net/berlotti/citygml-extension-for-bim-an-ifc)

Guide de référence FME Transformer 2015 disponible sur : <http://cdn.safe.com/resources/fme/FME-Transformer-Reference-Guide.pdf>

Aide en ligne ArcGIS disponible sur : <http://resources.arcgis.com/fr/help/>

Aide en ligne CityEngine disponible sur : <http://cehelp.esri.com/>

## Table des illustrations

Illustration 1 : Place du SID au sein du Ministère de la Défense .....	9
Illustration 2 : Les niveaux de détails du standard CityGML.....	14
Illustration 3 : Le BIM : plateforme d'échange pour les professionnels du bâtiment .....	15
Illustration 4 : Différence de conception entre BIM et SIG 3D .....	15
Illustration 5 : Bâtiments avant et après extrusion .....	22
Illustration 6 : En haut une règle procédurale sous forme de code, en bas une règle procédurale sous forme de modèle de création visuel.....	23
Illustration 7 : extrait du code de décomposition d'un bâtiment .....	24
Illustration 8 : Toiture en Sheds .....	24
Illustration 9 : Procédure de création d'un style de toit.....	25
Illustration 10 : Texturation des toits.....	25
Illustration 11 : Bâtiments d'aspect différent classés dans la même catégorie.....	26
Illustration 12 : Processus de découpage d'une photographie.....	27
Illustration 13 : Photographie aérienne du bâtiment « Armorique » .....	28
Illustration 14 : Bâtiment « Armorique » créé par BM .....	28
Illustration 15 : Bâtiment « Armorique » créé avec une règle procédurale CityEngine.....	28
Illustration 16 : Différence de dessin suivant les sources de donnée (partie sud du bâtiment) .....	29
Illustration 17 : Extraction des coins de bâtiment .....	30
Illustration 18 : Comparaison des détails du levé de BM et de la BD TOPO .....	30
Illustration 19 : Vue de profil du réseau .....	32
Illustration 20 : Vue oblique d'une maquette .....	33
Illustration 21 : Canalisation sans liaison/avec liaison.....	33
Illustration 22 : Borne de jardin non alignée / alignée avec le sol.....	35
Illustration 23 : Comparaison réalité/ maquette .....	36
Illustration 24 : Nuage de point nettoyé .....	38
Illustration 25 : Premier maillage obtenu dans 3DReshaper .....	38
Illustration 26 : Rebouchage de trou sur 3DReshaper .....	38
Illustration 27 : Maillage nettoyé et reboucher sur 3DReshaper .....	39
Illustration 28 : Rendu final 3DReshaper .....	39
Illustration 29 : Ficher OBJ issu de 3DReshaper après import dans CityEngine.....	40
Illustration 30 : Ficher OBJ issu de 3DReshaper après import dans ArcScene.....	41
Illustration 31 : Comparaison levé au scanner 3D/ extrusion d'emprise.....	41
Illustration 32 : Interface de Web Scene CityEngine .....	45
Illustration 33 : Plan de site du projet de sémaphore du Toulinguet .....	46
Illustration 34 : Simulation d'inter visibilité avec le projet de sémaphore du Toulinguet .....	46
Illustration 35 : Simulation d'inondation d'un site.....	47
Illustration 36 : Différence entre ArcGlobe et ArcScene .....	50

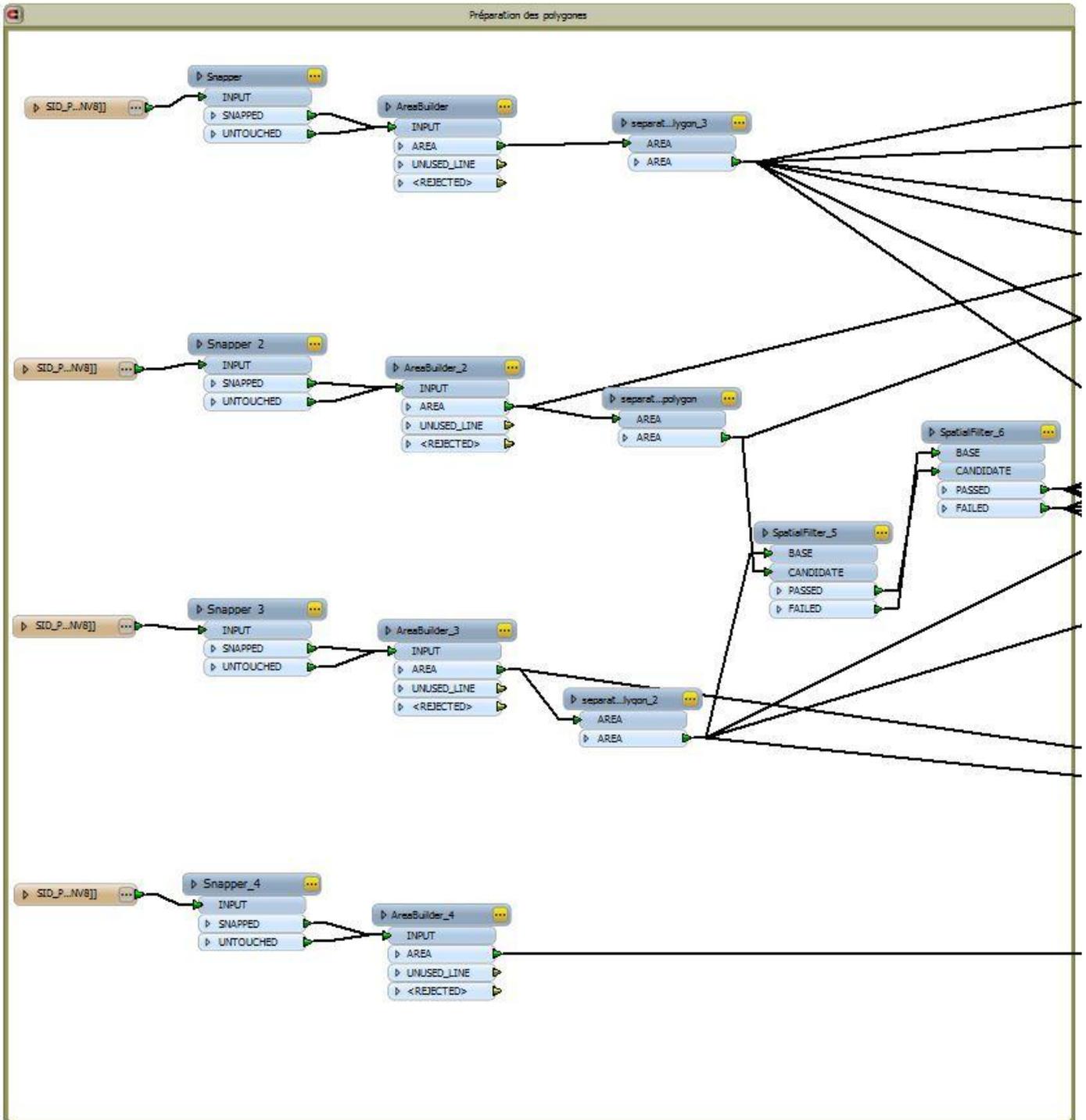
## Table des figures

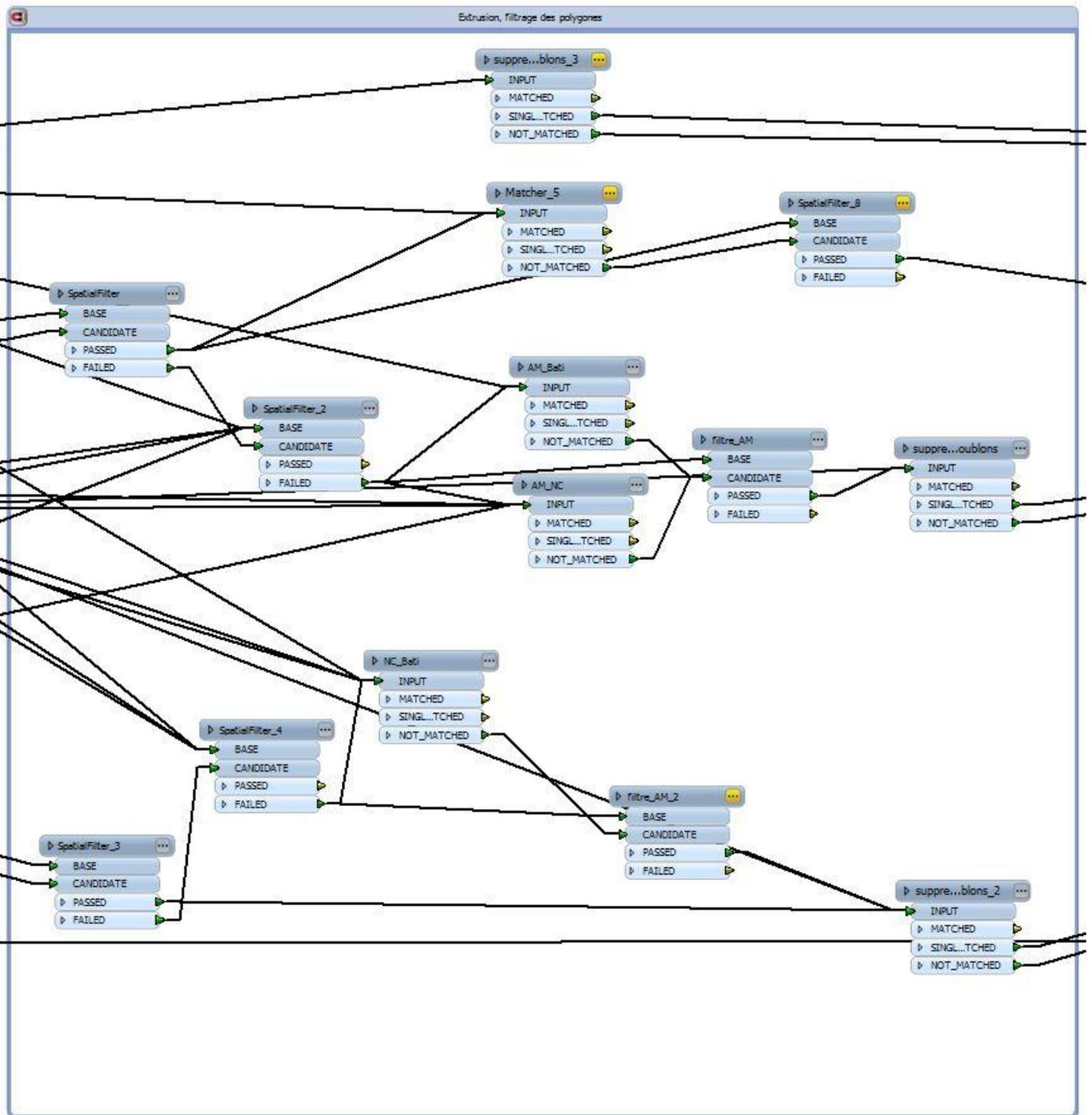
Figure 1 : Organigramme de création d'une maquette 3D .....	17
Figure 2 : Processus de création d'un terrain 3D.....	18
Figure 3 : Placement d'un repère local dans CityEngine .....	24
Figure 4 : Principe de fonctionnement des « Model Builder ».....	34
Figure 5 : L'automatisation des tâches pour la création de maquette 3D (1/2).....	48
Figure 6 : L'automatisation des tâches pour la création de maquette 3D (2/2).....	49

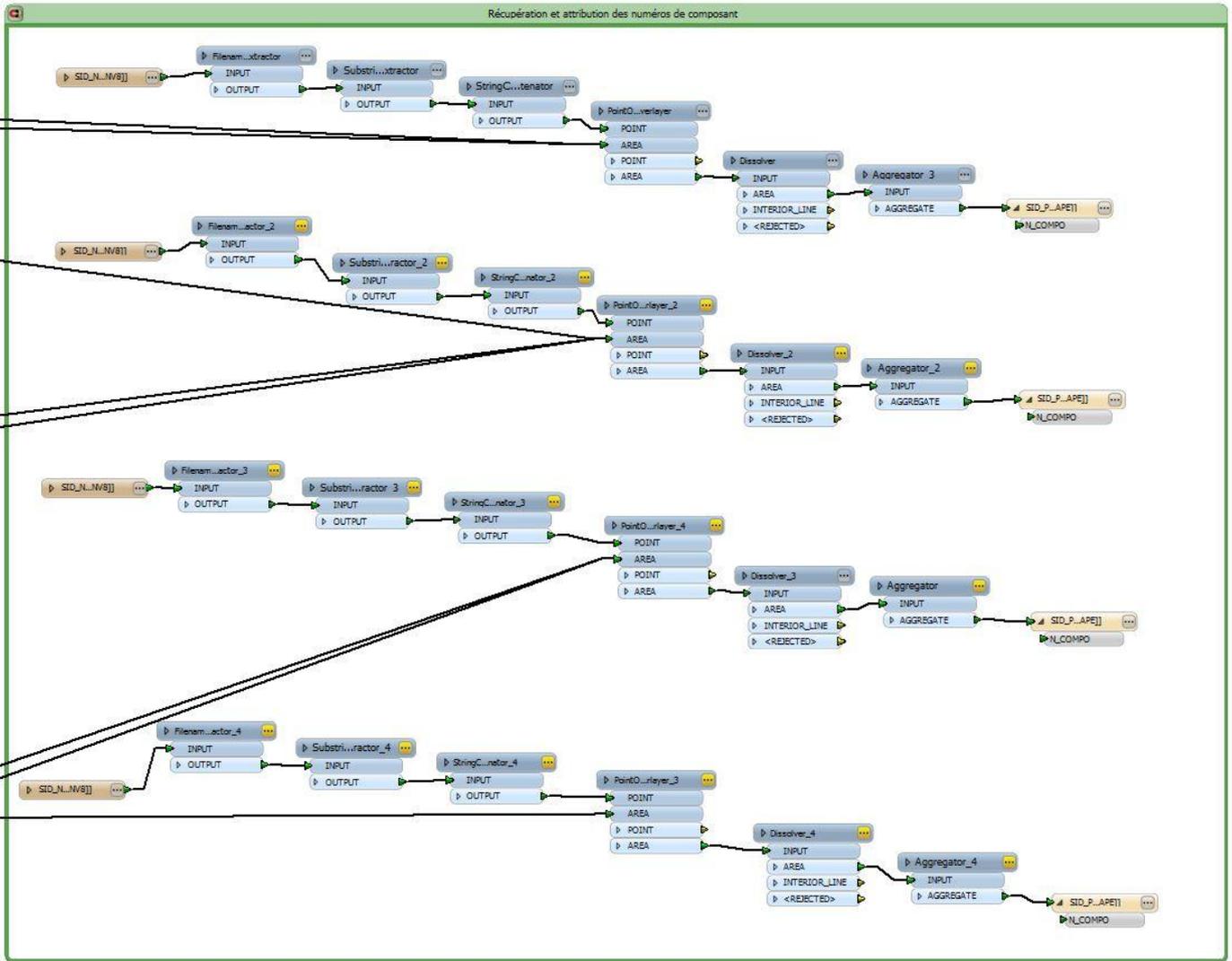
## Table des annexes

Annexe 1 : Outil de conversion de plan DGN en SHP avec FME
Annexe 2 : Code RGA de règle procédurale CityEngine
Annexe 3 : Code visuel de règle procédurale CityEngine
Annexe 4 : Exemple de Model Builder pour la création d'un réseau enterré
Annexe 5 : Résumé du TFE
Annexe 6 : Poster de présentation du TFE

## Annexe 1 : Outil de conversion de plan DGN en SHP avec FME







## Annexe 2 : Code RGA de règle procédurale CityEngine

```
/**
 * File:      EXTRUSION_TEXTURATION_PHOTO.cga
 * Created:   10 Apr 2015 07:10:27 GMT
 * Author:    Clément HUON
 */

version "2014.1"
#Création des attributs:
  #Attributs de type float avec leur valeur par défaut
@Location(-440,-1437)
attr ID_BATIMENT=0
@Location(-440,-1372)
attr hauteur=0
@Location(-443,-1280)
attr nb_sheds=4
  #Attributs de type chaîne de caractères avec leur valeur par défaut
@Location(-444,-1519)
attr forme_toit="TE"
  #Attributs de liaison +
@Location(-443,-1150)
attr photo= _getphototextures

#Constantes
@Location(-434,-1046)
const imageslocation = "images/"
@Location(-434,-975)
const taille_ortho_x = 500
@Location(-434,-910)
const taille_ortho_y = 600
@Location(-358,-818)

#Génération des volume dissociation des façades et du toit
@Location(-116,-489)
bloc-->
  cleanupGeometry(all,0)
  extrude(hauteur)

comp(f){ side: test_photo | top:forme }

  #Création du chemin pour l'accès à la photo de texturation (recherche)

@Location(-430,-727)
  _getphototextures = imageslocation + ID_BATIMENT + ".jpg"
  #Test pour savoir s'il existe une photo pour texturer la façade:
  #oui --> facade1 non --> facade2
@Location(246,-488)
  test_photo --> case fileExists(_getphototextures) : facade_photo
  else : facade_default
  #Texturation de la façade avec la photo
```

```

@Location(568,-543)
    facade_photo -->
        setupProjection(0,scope.xy,scope.sx,scope.sy)
        projectUV(0)
        texture(photo)

    #Texturation de la façade par défaut (sans photo)

@Location(560,-401)
    facade_default -->
        color("#FFFFFF")

#Création de la règle pour la texturation du toit avec l'ortho.
#Translation à modifier au besoin
@Location(178,-1358)
    toit-->
        setupProjection(0,world.xz,taille_ortho_x,-taille_ortho_y)
        projectUV(0)
        translateUV(0,-0.40,0.003)
        set(material.colormap, "images/PHOTO2010_10cm_BMO_Clip4.tif")

#Identification et attribution de la forme du toit en fonction de l'attribut
@Location(-112,-1311)
forme -->
    case forme_toit == "TE" : roofShed(0)toit
    case forme_toit == "1V" : roofShed(5)toit
    case forme_toit == "2V" : roofGable(45)toit
    case forme_toit == "CR" : roofHip(45)toit
    case forme_toit == "DE" : roofHip(45)toit
    case forme_toit == "MA" : roofHip(45)toit
    case forme_toit == "BE" : roofShed(0)toit
    case forme_toit == "SH" : SH0(3)
    case forme_toit == "PA" : roofPyramid(45)toit
    else : roofPyramid(45)toit

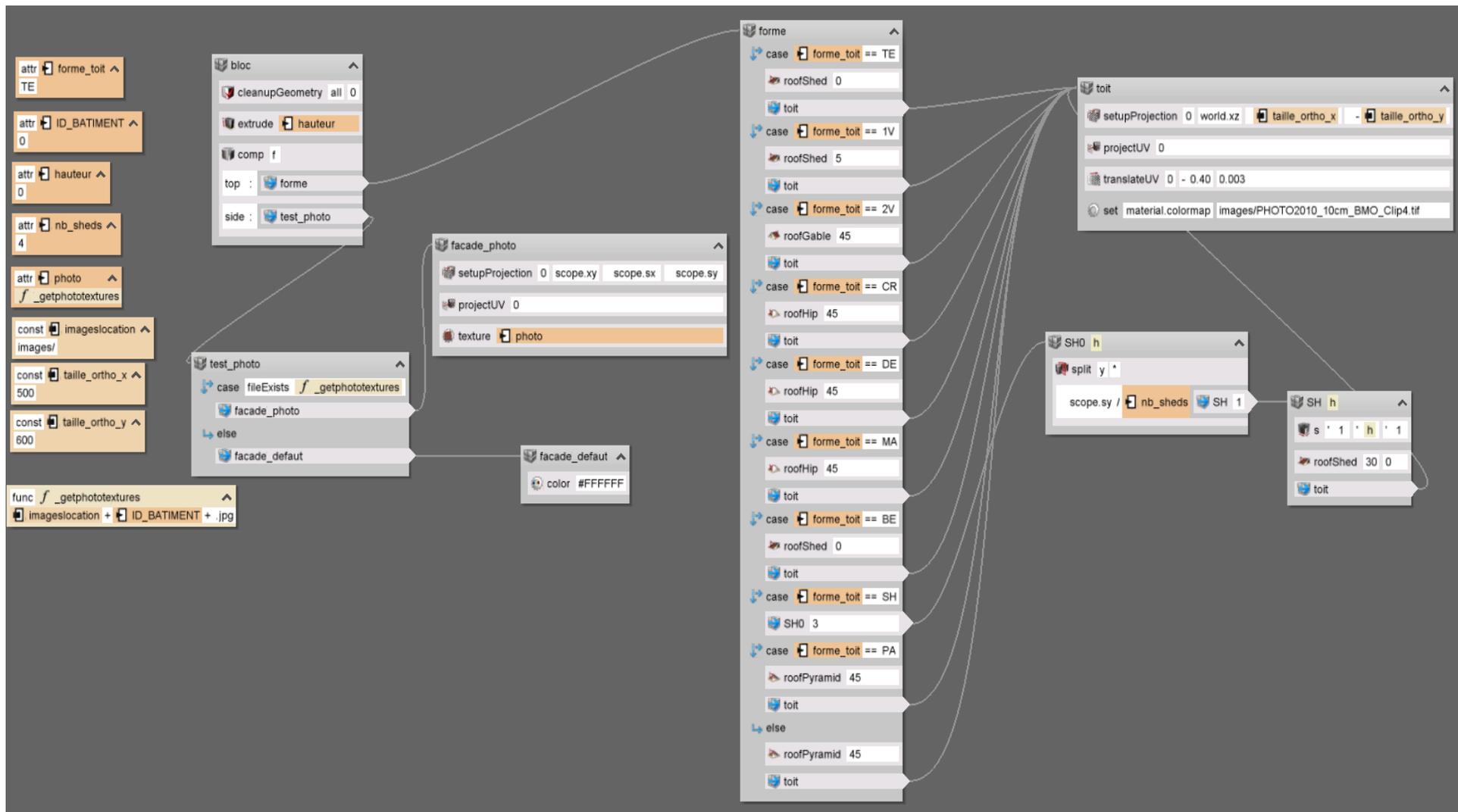
#Découpage, création, orientation et texturation pour les toitures en sheds

@Location(573,-631)
    SH(h)-->
        s('1','h','1')
        roofShed(30,0)
        toit

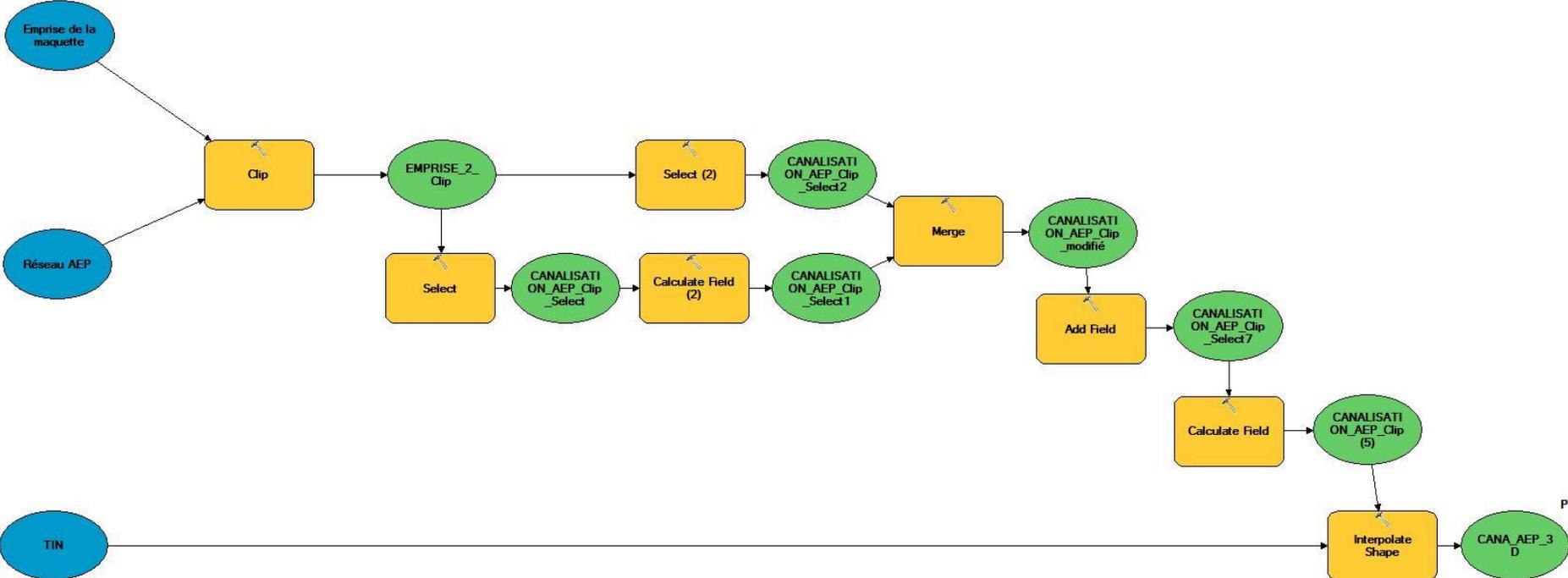
@Location(323,-631)
    SH0(h)-->
        split(y){
            scope.sy/nb_sheds : SH(1)}*

```

### Annexe 3 : Code visuel de règle procédurale CityEngine



Annexe 4 : Exemple de Model Builder pour la création d'un réseau enterré



# Démarche d'industrialisation et de rationalisation, dans le cadre de la mise en œuvre de logiciels et outillages de levés TOPO, DAO et SIG à l'ESID de Brest

## *Résumé de mémoire*

---

Clément HUON – ESGT promotion 2015

### Etablissement du Service d'infrastructure de la Défense (ESID) à Brest

#### **Introduction**

A l'heure des réductions de personnel, la rationalisation, l'industrialisation de processus prennent tout leur sens. Il faut faire plus avec moins de monde : la seule solution est donc l'automatisation. Les mutations opérées au sein du Service d'Infrastructure de la Défense (ESID) de Brest vont dans ce sens depuis plusieurs années. Des outils comme le SIG ou une charte graphique ont donc été mis en place.

Aujourd'hui, le ministère de la Défense est face à un nouveau défi : le passage à la 3D. De nombreuses collectivités construisent une maquette en 3D de leur territoire pour des besoins de communication, d'aide à la décision. Ce besoin se fait également ressentir pour la Défense française qui gère un patrimoine public important.

L'ESID de Brest est un service qui se veut innovant au sein du Ministère de la Défense, il s'est donc investi dans cette mission : rationaliser et industrialiser les outils en vue de la construction de maquettes 3D. L'objectif n'est pas d'obtenir une maquette 3D complète, car le patrimoine géré est morcelé, mais de créer des outils permettant de modéliser un espace local dans un temps raisonnable avec les données disponibles. La maquette ne devra pas être seulement visuelle : elle devra permettre de réaliser des calculs et des simulations, de manipuler les attributs des objets. La modélisation sera un SIG en 3D.

Pour atteindre cet objectif nous disposons :

- Des données internes respectant des chartes graphiques comme les plans DAO ou SIG ;
- des données issues de levés topographiques (scanner laser 3D) ;
- des données externes comme la BD Topo de l'IGN ou la maquette 3D de Brest Métropole Océane (BMO).

La difficulté de ce travail réside principalement dans l'intégration de toutes ces données issues de sources différentes dans les outils permettant de concevoir des maquettes en 3D présents à l'ESID de Brest.

Les outils disponibles dans le service pour modéliser un espace en 3D sont : ArcScene (issu de la suite ArcGIS de ESRI) et CityEngine. CityEngine est conçu pour de la représentation d'espaces urbains en 3D alors que ArcScene est plus un logiciel de SIG 3D.

Ces logiciels permettent tous deux d'automatiser des processus :

- CityEngine parle l'application de règles procédurales à des couches d'entrée. Les règles procédurales se présentent sous forme de code en langage de scripting CGA (Computer Generated Architecture). Ce langage est spécifique à la conception d'objets 3D architecturaux. CityEngine interprète les attributs des données SIG importés, lesquels peuvent être utilisés dans les règles

procédurales. Les possibilités de création d'objets sont poussées : modélisation et texturation des toits, des façades...

- ArcScene par la création de Model Builder. Ces modèles permettent de concaténer plusieurs outils ArcGIS pour obtenir une séquence d'outils qui s'exécuteront les uns à la suite des autres.

Lors de cette étude ces deux logiciels ont été utilisés pour créer différentes parties de maquettes 3D.

## **Le terrain**

La base de toute maquette est le terrain naturel. La modélisation du terrain peut se faire à partir de deux données différentes disponibles à l'ESID: un MNT réalisé par photogrammétrie aérienne avec une résolution de 5m ou un semis de points topographiques. Dans le premier cas la modélisation est directement drapée avec une orthophotographie. Dans le second, il faut préalablement nettoyer le semis (enlever les points d'altitude 0), créer un TIN (Triangular Irregular Network) et ensuite draper l'orthophotographie. Ce second a fait l'objet d'une automatisation avec un Model Builder.

## **Les bâtiments**

La modélisation des bâtiments est abordée de multiples manières. La façon la plus simple consiste à importer les bâtiments créés par BMO, dont la précision annoncée est d'environ 50cm. Cette collectivité a créé une maquette 3D de son territoire, dont les données sont libres d'accès. Cette modélisation comprend la forme et la texturation des toits ainsi que le découpage des façades en étages. L'inconvénient de ces données provient de leur emprise : l'ESID à des bâtiments qui ne sont pas inclus sur le territoire de BMO.

Les bâtiments sont également réalisés à partir d'emprises en 2D. En utilisant la BD Topo de l'IGN et à l'aide de règles procédurales CityEngine, nous avons créé des volumes avec le toit texturé. Cette donnée ne contient pas d'information sur la forme des toits, nous ne pouvons donc pas la modéliser automatiquement. La précision de la BD Topo est métrique.

La dernière solution consiste à utiliser les plans topographiques. Ils sont actuellement réceptionnés au format .DGN (Microstation, logiciel de DAO). Le prestataire chargé de les réaliser devra prochainement les fournir au format SHP avec un attribut de hauteur et de forme de toit pour chaque bâtiment. Après avoir créé un jeu de données test, nous avons écrit une règle procédurale permettant d'attribuer la hauteur et la forme de toit correspondante à chaque objet. La précision de cette donnée est centimétrique (levé à la station totale).

En attendant la réception des données du nouveau marché de levé topographique au format SIG, un convertisseur du format .DGN vers le format .SHP a été réalisé. Nous avons pour cela créé un outil qui utilise l'extension FME data interoperability d'ArcGIS. Ce logiciel interprète plus d'une centaine de formats de données différentes et permet de faire des transformations et des opérations sur les données.

Les possibilités de texturation des façades ont été abordées. Nous avons dans un premier temps pensé créer une texture en fonction du type de bâtiment. Le service SIG de Brest Métropole nous a fait part de son expérience décevante avec ce type de texturation. Nous avons également fait le constat suivant : le patrimoine de la Défense est trop varié pour que cette possibilité soit facile à mettre en œuvre.

Par ailleurs l'ESID n'a pas pour le moment les moyens d'effectuer des prises de vues obliques pour texturer les façades.

Suite à ces conclusions, nous avons choisi de texturer les bâtiments à l'aide de photographies prises sur le terrain et correspondant à chaque bâtiment. Une règle procédurale est créée pour attribuer automatiquement en texture de façade une photo portant le même nom que le bâtiment. Toutes les façades du bâtiment sont en revanche texturées avec la même photo ce qui trouble le réalisme.

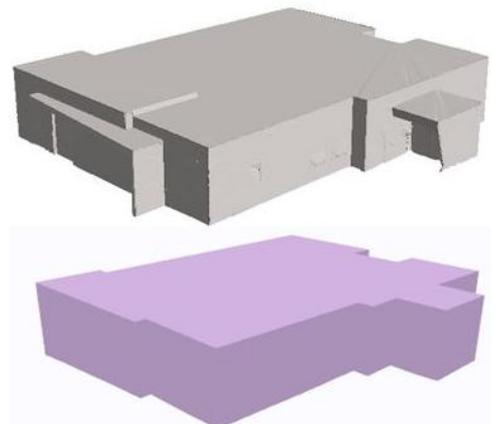
Dans le logiciel ArcScene, les possibilités de création de bâtiment sont limitées à la simple extrusion d'un volume.



**Illustration 37 : Bâtiment créé et texturé avec CityEngine**

Nous nous sommes intéressés à l'import de mesures au scanner laser 3D dans une maquette. Les essais d'import de nuage de points avec une texturation issue de la photo du scanner dans les logiciels se sont avérés infructueux. Les logiciels ne sont pas prévus pour traiter un nombre aussi important d'objets. Il faut donc traiter les nuages de points avant de les importer dans la maquette.

Nous avons testé 3DReshaper qui permet de mailler le nuage de point et de le texturer. L'opération est longue et laborieuse et ne peut pas être automatisée. Le bâtiment est cependant représenté très finement avec une bonne précision (<5cm). Lors du transfert entre 3DReshaper et CityEngine/ArcScene, nous avons rencontré des problèmes d'interopérabilité. La création d'un outil FME a permis de parer ce problème en partie : le volume du bâtiment est bien importé mais la texturation n'apparaît pas. Le fichier de liaison entre les photos et le volume n'est pas reconnu ni par CityEngine, ni par ArcScene, ni par FME. Aucune solution n'a été trouvée pour résoudre ce problème de texturation du maillage.



**Illustration 38 : Bâtiment modélisé au scanner laser (en haut) bâtiment extrudé d'une empreinte 2D (en bas)**

## **Les réseaux, le mobilier urbain et les projets 3D**

Nous avons travaillé sur la modélisation des réseaux enterrés dans la maquette. En effet, l'ESID dispose d'une base de données contenant la géolocalisation de nombreux réseaux (Eaux pluviales, eaux usées, électricité...) et ArcScene permet d'associer à une ligne un symbole 3D, dans notre cas un tube. Les réseaux contiennent en attribut de nombreuses informations dont le diamètre.

L'altitude du réseau pourrait être modélisée dans un TIN créé à partir de points singuliers référencés en Z sur le réseau. Il suffirait alors d'aligner le réseau sur ce TIN. Ces points sont trop peu nombreux pour permettre une position continue en altitude. Nous avons donc fait le choix de placer le réseau à une altitude arbitraire sous le terrain.

Grâce à des Model Builder toutes les opérations nécessitant la création des réseaux sont automatisées. L'altitude est fictive, la précision planimétrique variante suivant les zones des réseaux. Cette modélisation permet de se rendre compte lors de l'implantation d'un projet dans une maquette 3D de la complexité des réseaux enterrés sur la zone.

Dans le même esprit, des Model Builder ont été conçus pour ajouter automatiquement du mobilier urbain à la maquette ainsi que des arbres. Ces opérations permettent d'augmenter le réalisme des scènes.



**Illustration 39 : Comparaison réalité/maquette**

Les projets 3D au format DGN et IFC peuvent être introduits dans une maquette créée grâce à des outils FME conçus durant ce stage pour permettre l'insertion d'un projet dans son environnement local.

Une diffusion des maquettes est possible grâce aux Web Scene CityEngine. Et divers calculs ou simulations sont envisageables comme des simulations d'inondation ou des calculs d'inter-visibilité.

## **Conclusion**

Après avoir passé plusieurs mois à manipuler les données sur deux logiciels, nous en avons conclu que pour les besoins de l'ESID, ArcScene est plus adapté.

CityEngine est limité en nombre d'objets d'une part et de calculs sur la maquette d'autre part. A l'exception des simulations d'ensoleillement, la maquette créée sur cette interface n'est que visuelle. Cependant la modélisation des bâtiments peut être très poussée sur ce logiciel.

ArcScene propose des possibilités de calcul avancées : inter-visibilité, hydrologie, simulations d'inondation et ce, en plus des possibilités de requête d'un logiciel de SIG 2D classique. Les avantages de CityEngine sont accessibles par l'interopérabilité entre ces deux logiciels : des bâtiments très travaillés sur CityEngine pourront être intégrés aisément dans le logiciel ArcScene. Un outil permet de créer des Web Scene CityEngine directement depuis ArcScene.

Les outils créés permettent à une personne n'ayant jamais fait de 3D de créer en quelques heures une maquette pour un site. Tous les éléments étudiés ne sont pas forcément intégrés, l'idée étant que l'utilisateur crée sa maquette en fonction de ses besoins, « à la carte ». Même si des améliorations sont encore possibles, ces outils répondent aux besoins actuels de 3D à l'ESID de Brest.

## Annexe 6 : Poster de présentation du TFE

# Démarche d'industrialisation et de rationalisation, dans le cadre de la mise en œuvre de logiciels et outillages de levés TOPO, DAO et SIG à l'ESID de Brest



### L'ESID de Brest

L'Etablissement du Service d'Infrastructure de la Défense de Brest est un service qui a pour rôle de gérer et d'administrer le patrimoine de la Défense sur les départements des Côtes d'Armor, du Finistère et du Morbihan. Ce service est basé à Brest. Il gère notamment l'Île Longue, port d'attache des sous-marins nucléaires français (Photo ci-contre).



### Modélisation du terrain

Le terrain est modélisé en 3D grâce à un TIN (Triangular Irregular Network) ou un MNT (Modèle Numérique de Terrain).  
Un Orthophotographie est drapé sur cette représentation.

### Création de maquette 3D

Chaque étape permettant d'obtenir la maquette 3D est automatisée.

Les outils utilisés pour automatiser le processus sont :

- FME Data Interoperability
- CityEngine (Règles procédurales)
- ArcGIS (Model Builder)

### Levé d'infrastructure au scanner laser 3D

Des bâtiments complexes ou des infrastructures difficiles à modéliser en 3D sont levés au scanner laser 3D pour être ensuite intégrés dans les maquettes 3D.

Il faut procéder au nettoyage et maillage du nuage de point avec 3DReshaper.

Le maillage est ensuite exporté au format OBJ.

L'import dans la maquette est possible grâce à un outil créé sur FME Data Interoperability.

Une transparence est ajoutée au terrain pour laisser apparaître les réseaux enterrés.

### Création de bâtiments 3D

Conversion du format DAO vers le SIG avec FME Data Interoperability.

Modélisation et texturation des bâtiments avec CityEngine à partir d'une empreinte 2D.

Import de bâtiments 3D avec des outils créés avec FME Data Interoperability.

### Modélisation de Réseaux enterrés et du mobilier urbain

A partir de données 2D de l'ESID les maquettes sont habillées.

Les canalisations des réseaux enterrés (fluides et électriques) sont modélisées en 3D. La représentation respecte le diamètre des tuyaux ou des câbles.

Des symboles 3D sont associés à des éléments de mobilier urbain: Luminaires, poteaux incendies et arbres sont représentés.

Ces étapes sont automatisées grâce à la conception de ModelBuilder.

### Utilisation des maquette 3D

Les maquettes 3D sont diffusées en Web Scène :

Elles permettent de se déplacer, d'afficher ou de masquer des couches, de modifier l'ensoleillement dans un navigateur Web.



En utilisant le logiciel ArcScene, toutes les capacités d'un SIG sont conservées: requêtes, sélection et création d'attributs...

Des simulations sont possibles, comme une montée des eaux autour du Sémaphore du Toulinguet:



Des calculs peuvent être réalisés:

-Intervisibilité entre des cibles et un observateur



-Visibilité depuis un point d'observation situé à une certaine hauteur:



**Légende:**  
● Observateur    Partis visible    Partis invisible

Réalisé par Clément HUON ES3 TFE 2015



# **Démarche d'industrialisation et de rationalisation, dans le cadre de la mise en œuvre de logiciels et outillages de levé TOPO, DAO et SIG à l'ESID de Brest**

**Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2015**

---

## **RESUME**

L'avancée des technologies nous permet aujourd'hui de modéliser numériquement le monde qui nous entoure en 3 dimensions. Cette vision a de nombreux avantages : meilleure communication, possibilités de calculs et de simulations étendues... Le ministère de la Défense s'y intéresse de près, pour toutes ces raisons.

Ce TFE propose des solutions pour créer des maquettes 3D avec les outils disponibles à l'Etablissement du Service d'Infrastructure de la Défense de Brest. La modélisation va des réseaux enterrés au mobilier urbain en passant par le terrain et les bâtiments. Plusieurs sources de données ont été testées : des données topographiques, DAO, SIG, ... afin d'évaluer les capacités et limites de chacune.

De brefs exemples des possibilités de diffusion, calculs et simulations des maquettes créés sont également exposés.

**Mots clés : Maquette 3D, Processus automatisé, SIG, Brest.**

---

## **SUMMARY**

Nowadays, technological advances make it possible to model the world in 3 dimensions. That way of representing our surroundings has many advantages: better communication, extend of simulation and calculation possibilities... The French Department of Defense is taking a close interest to it because of all those reasons.

This report aims at creating a process that will automatically build 3D models of the army's properties and lands. Modeling goes from network and street furniture to land and buildings. Several data sources are tested: GIS data, CAD data, surveying data... in order to estimate the capacity and limits of each kind of data.

Examples of diffusions, calculations and simulations possibilities of 3D models are also presented.

**Key words: 3D model, automatic process, GIS, CityEngine.**