

Faculté des Sciences Exactes et de l'Informatique
Département de Mathématiques et d'Informatique
Filière : Informatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique
Option : **Systemes d'Information Géographique**

THEME

**Etude, modélisation et construction d'un prototype
de Smart Cities avec Esri CityEngine**

Etudiant(e)s : **ABBAS Kamel**

DEHAR Meriem El Batoul

Encadrant : **MIDOUN Mohammed**

Année Universitaire 2015/2016

Remerciement

*En préambule à ce mémoire nous remerciant **ALLAH** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*La première personne que nous tenons à remercier est notre encadreur **Monsieur Midoun** pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

*Nous remercions aussi tous les responsables de la faculté des sciences exacte et informatique et surtout le doyen **Monsieur Belmekki***

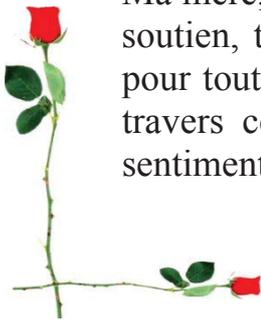
Nous remercions également tout le staff pédagogique du département informatique actuel.

*Nous tenons à remercier aussi très chaleureusement les deux enseignants du Centre des techniques spatiales **Monsieur Takarlli** et **Monsieur Mahmoudi**.*

Nous ne pouvons pas clore cette page sans remercier nos familles pour leurs soutiens et leurs patiences tout au long de notre travail ainsi tous nos amis de près ou de loin.

Merci à tous et à toutes.

Je dédie ce travail à :



Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

ABBAS Kamel

Thème

Etude, Modélisation et construction d'un prototype de Smart Cities avec EsriCityEngine

Résumé

Le concept de Smart City, désigne une ville utilisant les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour améliorer la qualité des services urbains ou encore pour réduire ses coûts. Ce concept émergent désigne un type de développement urbain apte à répondre à l'évolution ou à l'émergence des besoins des institutions, des entreprises et des citoyens, tant sur le plan économique, social, qu'environnemental.

Une ville intelligente serait capable de mettre en œuvre une gestion des infrastructures (d'eau, d'énergie, d'information et de télécommunication de transports de services d'urgences d'équipements publics, de bâtiments, de gestion de tri de déchets, etc.) communicantes, adaptables, durables et plus efficaces, automatisées pour améliorer la qualité de vie des citoyens, dans le respect de l'environnement.

Depuis de nombreuses années, de nombreux travaux tentent de modéliser la ville en trois dimensions. Ces outils sont aujourd'hui arrivés à maturité et sont disponibles sur le marché.

Les SIGs 3D sont autant des outils de conception, d'évaluation et de suivi de projets.

L'objectif de ce travail est de proposer une solution SIG orientée 3D combinant modélisation des villes intelligentes, simulations de phénomènes socioéconomiques et planification des infrastructures urbaines. Ceci passe par :

- La définition des modèles de données 3D dans un SIG.
- L'intégration de ces données dans une plateforme dynamique.
- La publication, la mise à jour et l'analyse de la donnée 3D.

Mots clés : Smart Cities, SIG 3D, Model 3D, City Engine.

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : concepts de bases

Introduction.....	2
I.1. SIG (Système d'information géographique)	2
1.1. Les composantes d'un SIG.....	2
1.2. Types d'information requise pour un SIG.....	3
1.3. Modèle de Gestion des données dans les SIG.....	3
1.4. Les logiciels SIG	3
I.2. La troisième dimension dans les SIG	4
2.1. Modèle Numérique de Terrain(MNT).....	4
2.2. Modèle Numérique d'Élévation (MNE).....	5
2.3. Construction du model 3D.....	5
1. La stéréoscopie	5
2. LiDAR	6
3. Mode opératoire général.....	6
2.4. Les Logiciels SIG 3D	7
I.3. La normalisation de l'information géographique 3D	7
3.1. Les Normes OGC et ISO	9
3.2. Le Format CityGML.....	9
3.3. Le Format IFC	10
3.4. KML et KMZ	11
I.4. Difficulté dans les SIG 3D	12
I.5. Les exemples de projets SIG 3D urbain (modèles 3D)	12
5.1. La ville du Havre	12
5.2. La ville de Vienne	13
I.6. ESRI City Engine	13
Conclusion	14

Chapitre II: Smart City

Introduction.....	15
II.1.État de l'art.....	17
II.2. Quartier intelligent	19
2.1. IssyGrid	19
2.2. UrbanEra.....	19
II.3. SIG et Smart city	20
Conclusion	22

Chapitre III Réalisation

Partie Méthodologique

III.1. Introduction	23
III.2. Problématique	23
III.3. Objectifs de travail	24
III.4. La description du la zone de notre étude	25
III.5. Définition des données	25
III.6. Choix des outils de travail	25
III.7. Intervenants.....	27
III.8. La réalisation du projet	27
III.8.1. Définition des besoins	29
III.8.2. Les axes ciblés	29
III.8.3. Enquête	30
III.8.4. Résultat et analyse	30
III.8.5. L'avantage de la solution choisi	32
III.8.5.1. L'usage des données géographiques	33
III.8.5.2. Ergonomie de l'interface d'utilisation	33
III.8.5.3. Usage des règles (rules)	33
III.8.5.4. l'importation et l'exportation des objets	33
III.8.5.5. L'utilisation des données OpenSreetMaps (OSM) et shapfile	33
III.8.5.6. Librairie "3D Plant"	34
III.8.5.7. SDK CityEngine.....	35
III.8.5.8. Formats 3D standard	35

Partie Conception

III.9. Conception du SIG 2D.....	36
III.9.1. La construction de la base de donnés	36
III.9.2. Préparation des données	38
III.9.3.Réalisation du plan de la ville	38
III.9.4.Création de la Géodataase.	39
III.9.5. Intégration des données	39
III.9.5.1. La numérisation	39
III.9.5.2. Création de la topologie	40
III.9.5.3. Préparations du Modèle numérique de terrain	40
III.10. Acquisition des textures	40
III.11. Conception du SIG 3D.....	41
III.11.1. La construction du sol	41
III.11.2.Importation des couches	41
III.11.3. Règles procédurales (rules file).....	42
III.11.4. La construction manuelle du modèles 3D	43

III.11.5. La génération du réseau routier	44
III.12. Généralisation du modèle	44
III.12.1. Le modèle 3D sous le web	45
III.12.1.1. Création d'un compte ArcGIS Online	45
III.12.1.2. Gestion des contenus	45
III.12.2. Le modèle 3D sous le web local.....	48
a) La navigation	49
b) La sélection des couches	49
c) La recherche par sélection	50
d) Paramètres	50
e) Eclairage public	51
f) Champs de visibilité d'une caméra	51
g) Capture d'écran	51
h) Analyse	52
III.12.3. Autres d'utilisation	52
Conclusion et perspectives.....	53
Conclusion général.....	55
Annexe	56
Bibliographie	60
Webographie	61

Table des figures

Figure 1 : Types de recouvrement entre stéréo images.....	5
Figure 2 : Mode opératoire de LiDAR et photogrammétrie.....	6
Figure 3 : Exemple des logiciels 3D.	8
Figure 4 : Les cinq niveaux de détails (LOD) définis dans CityGML.....	10
Figure 5 : Maquette du futur outil web de visualisation du Havre 3D.....	12
Figure 6 : Élaboration d'un « Masterplan » pour le développement urbain.	13
Figure 7 : CityEngine.....	14
Figure 8 : Plan de Masder City.....	18
Figure 9 : Cartier intelligent	19
Figure 10 : Importance du SIG.....	20
Figure 11 : Phase de conception, esquisse d'un scénario (CityEngine)	21
Figure 12 : Phase Analyse et validation	21
Figure 13 : Le SIG comme outil de partage	22
Figure 14 : La Salamandre (google Maps).....	25
Figure 15 : L'appareil photo utilisée	27
Figure 16 : L'organigramme des phases de la réalisation.....	28
Figure 17 : La gestion des graphes sous CityEngine	34
Figure 18 : Les modèles de végétation.....	34
Figure 19 : L'usage SDK CityEngine sous Autodesk Maya (création bâti)	35
Figure 20 : L'application de règles CGA sous Autodesk Maya.....	35
Figure 21 : Le schéma relationnel des données sous Access	37
Figure 22 : Le plan AutoCAD de la salamandre.....	38
Figure 23 : La Géodatabase sous Arc Catalogue	39
Figure 24 : L'image satellite utilisée sous ArcMap	39
Figure 25 : Le MNT de la Région de Salamandre	40

Figure 26 : Les problèmes liés à la texture.....	40
Figure 27 : La scène 3D du départ	41
Figure 28 : Le réseau routier sous CityEngine.....	41
Figure 29 : La règle d'extrusion sur les bâtiments et résultat d'application.....	42
Figure 30 : Application des règles pour généralisation des arbres.....	43
Figure 31 : Le « sketching » sous CityEngine	43
Figure 32 : Le réseau routier sous CityEngine.....	44
Figure 33 : Les modes d'inscription pour un compte Arcgis Online.....	45
Figure 34 : Partage des éléments (la publication)	46
Figure 35: La publication de la scène.....	46
Figure 36: Le modèle du Salamandre sous Arcgis Online.....	47
Figure 37 : Personnalisation du partage des contenus.....	47
Figure 38 : L'interface principale de la solution développée.....	48
Figure 39 : La navigation dans le modèle 3D	49
Figure 40 : Les couches d'information	49
Figure 41 : La recherche, requête de sélection.....	50
Figure 42 : Les effets d'ombres	50
Figure 43 : L'éclairage avec prise en charge des obstacles	51
Figure 44 : Le champ de visibilité d'un point (caméra de surveillance).....	51
Figure 45 : La capture d'écran	51
Figure 46 : La sélection par thématique	52
Figure 47 : La Géodatabase 3D produite sous ArcScene.....	52

Liste des Tableaux

Tableau 1. Synthèse des six dimensions pour devenir une ville intelligente	16
Tableau 2 : Le planning de déroulement.....	30
Tableau 3 : Résumé sur enquête chez la société Sonalgaz	31
Tableau 4 : Résumé de l'enquête chez l'ADE	31
Tableau 5 : Résumé de l'enquête chez la direction d'urbanisme	32
Tableau 6 : Résumé de l'enquête chez Etablissement Publique de Willaya.....	32
Tableau 7 : Résumé de l'enquête chez la direction de l'environnement.....	32

Glossaire

2D	deux d'implosions.
3D	Trois dimensions ou tridimensionnel
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CGA	Computer-Generated Architecture
CityGML	The City Geography Markup Language
DEM	Digitale Elévation Modèle.
DFX	Drawing eXchange Format
DWG	DraWinG (format dessin)
ESRI	Environmental systems research institute.
GML	Geographic Markup Language
GPS	Global Positioning System
IFC	Industry Foundation Classes
ISO	International Organization for Standardization
KML	Keyhole Markup Language
LOD	Levels of Detail
MNE	Modèle Numérique d'Élévation
MNT	Modèle Numérique de Train
OBJ	format de fichier objet
OGC	Open Geospatial Consortium
OSM	OpenSreetMaps
SDK	software development kits
SIG	Systèmes d'Information Géographique
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
TIN	Triangular Irregular Network
W3C	World Wide Web Consortium
WEB	World Wide Web.
WebGL	Web Graphics Library
XML	langage de balisage extensible (Extensible Markup Language)

Introduction générale

Introduction générale

Un système d'information géographique (SIG) est un outil puissant pour la représentation de l'information géographique et surtout sous la forme 3D.

Aujourd'hui de plus en plus de localités conçoivent des plans d'aménagements paysagers, des maquettes ou des SIG en 3D pour valoriser leurs patrimoines, pour évaluer les projets d'architectures proposés et pour améliorer le processus décisionnel. Le développement d'un prototype de Smart City à l'aide des SIGs 3D permet à tous les acteurs de la ville de disposer de logiciels de visualisation et de calculs 3D, mais aussi de supervision et d'aide à la décision.

L'objectif de ce travail est de réaliser un SIG 3d réaliste basé sur des données réelles, et d'intégrer les indicateurs de l'intelligence voulu porter à la ville.

Notre travail est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre résume les concepts de bases de l'information géographique, les SIG, les SIG 3D et quelques exemples mondiales sur la réalisation des villes en 3D.

Le second chapitre présente les concepts de Smart City. Aussi nous allons présenter un couplage entre les SIG 3D comme outils puissant et les villes intelligents.

Dans le troisième chapitre nous allons détaillés les étapes de réalisation de notre projet et nous allons démontrer les résultats et l'utilité de notre application.

En fin, nous allons terminer avec une conclusion générale.

Chapitre I

concepts de bases

Introduction.....	2
I.1. SIG (Système d'information géographique)	2
1.1. Les composantes d'un SIG.....	2
1.2. Types d'information requise pour un SIG.....	3
1.3. Modèle de Gestion des données dans les SIG.....	3
1.4. Les logiciels SIG	3
I.2. La troisième dimension dans les SIG	4
2.1. Modèle Numérique de Terrain(MNT).....	4
2.2. Modèle Numérique d'Élévation (MNE).....	5
2.3. Construction du model 3D.....	5
1. La stéréoscopie	5
2. LiDAR	6
3. Mode opératoire général.....	6
2.4. Les Logiciels SIG 3D	7
I.3. La normalisation de l'information géographique 3D.....	7
3.1. Les Normes OGC et ISO	9
3.2. Le Format CityGML.....	9
3.3. Le Format IFC	10
3.4. KML et KMZ	11
I.4. Difficulté dans les SIG 3D	12
I.5. Les exemples de projets SIG 3D urbain (modèles 3D)	12
5.1. La ville du Havre	12
5.2. La ville de Vienne	13
I.6. ESRI City Engine	13
Conclusion	14

Chapitre I : concepts de bases

Introduction

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont apparus à la fin des années 1960. Il s'agit d'utiliser de grandes possibilités de calcul des ordinateurs pour saisir, gérer et analyser toute sorte d'information spatiale.

Depuis une vingtaine d'années, le Système d'Information Géographique (SIG) est l'une des technologies de l'information et de la communication les plus utilisés par les pouvoirs publics dans le processus décisionnel, notamment en matière de planification et de gestion.

I.1. SIG (Système d'information géographique)

Un Système d'Information Géographique est un outil informatique permettant d'effectuer des tâches diverses sur des données à références spatiales.

On dit qu'une information est géographique lorsqu'elle est liée à une localisation dans un système de référence sur la terre. On parle aussi de données localisées ou d'information à référence spatiale. L'information géographique est composée d'informations géométrique, descriptive et topologique. Elle constitue une interprétation du monde réel.

1.1. Les composantes d'un SIG

Le système d'information géographique intègre en plus de l'outil informatique qui manipule les données, plusieurs composantes qui font la spécificité d'un système complet. A chacune des composantes du système correspond un ensemble de fonctionnalités primaires : abstraction, acquisition, archivage, analyse et affichage. Parmi les principales composantes d'un SIG, on peut citer :

- Le système d'acquisition numérique : digitalisation.
- Le système de gestion de la base de données géographique : la manipulation par thématiques.
- Le système d'analyse spatiale.
- Le système de représentation cartographique : production des cartes.
- Les systèmes auxiliaires: le traitement numérique d'images aérospatiales et l'analyse statistique.

Le SIG est donc un système conçu pour travailler avec des données spatiales géoréférencées qui établit un lien entre des entités localisées représentées sur une carte et les informations (attributs) qui les décrivent. Il permet d'accéder aux attributs (informations alphanumériques) de n'importe quelle entité représentée ou de localiser une entité sur une carte à partir de ses attributs. L'entité et ses attributs constituent une couche ou thème. Un ensemble de couches (ou thèmes) concernant une zone géographique constitue une base de données géographiques.

1.2. Types d'information requise pour un SIG

Un SIG ne peut fonctionner que s'il contient des données. Un SIG requiert généralement deux types d'informations : les informations décrivant les éléments géographiques et les informations définissant les caractéristiques thématiques (attributs) des données, constituant ainsi la base de données spatiales.

Une base de données spatiale se définit comme une collection structurée d'informations à référence spatiale sur un sujet (thème) précis. Elle comprend des données décrivant les éléments géographiques (localisation absolue et relative) et des données définissant les caractéristiques thématiques (attributs) des données.

L'image comporte surtout des données géométriques (forme, dimensions, localisation), le texte comporte surtout des données sémantiques (attributs) alors que la carte comporte des données à la fois sémantiques et géométriques.

1.3. Modèle de Gestion des données dans les SIG

Le modèle de données représente l'organisation, la description et la manipulation de la base. Ce processus d'enregistrement, de traitement et d'organisation des données est déterminé par le modèle de représentation choisi. Il existe essentiellement deux modes de représentation des données spatiales dans les SIG : le mode vectoriel (ou objet) et le mode matriciel (ou raster). Le modèle de données comporte un ensemble d'opérations primaires utilisées pour manipuler les données stockées dans la base.

Pour les entités géographiques, elles sont stockées en utilisant les propriétés d'une matrice dans la structure raster ou la notion de topologie dans le cas de la structure vectorielle.

En ce qui concerne les attributs, un modèle de données séparé est utilisé pour les stocker, les manipuler et les gérer dans les logiciels SIG.

Plusieurs logiciels de SIG manipulent les éléments géographiques et les attributs dans des systèmes différents de gestion de données. Les données sont alors liées entre elles par des identifiants uniques. Dans le mode vectoriel en particulier, les deux composantes spatiales et thématiques sont séparées de manière rigide. En mode matriciel, elles constituent une entité unique, intégrée.

1.4. Les logiciels SIG

Le tout premier système reconnu comme SIG est Canada Geography Information System, élaboré en 1964. Depuis, de nombreux SIG ont été développés ; ARC INFO, ARC VIEW et MAPINFO étant parmi les plus utilisés. Ces logiciels, propriétaires pour la plupart, sont utilisés aussi bien pour l'édition et la visualisation de cartes que pour des analyses spatiales. Ils offrent cependant peu de possibilités de personnalisation ou de développement et les utilisateurs sont pour la plupart les géographes, les cartographes, les agronomes, les environnementalistes et autres professionnels de l'aménagement et de la gestion du territoire.

I.2. La troisième dimension dans les SIG

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) capables de gérer les données tridimensionnelles sont indispensables à de nombreux secteurs d'activités. Cependant, les contraintes autour de la 3D sont multiples et les solutions SIG 3D commerciales présentent encore des lacunes en matière de gestion des données 3D.

Selon (Ramos, 2003) le type de modélisation du modèles 2D½ se retrouve notamment chez les éditeurs de SIG ayant construit leur notoriété autour d'une gamme de logiciels et d'applications 2D et souhaitant aujourd'hui offrir de nouvelles possibilités 3D aux utilisateurs de leurs produits. Leurs modules dits 3D se limitent très souvent au stockage d'une unique altitude z par couple de coordonnées (x,y).

La troisième dimension a été introduite dans les bases de données en deux dimensions comme un simple attribut alphanumérique. Le résultat est appelé 2D½ car une telle modélisation ne permet pas de représenter tout type d'objet 3D. L'intérêt d'un tel choix réside en partie dans le fait que les modèles 2D et 2D½ sont identiques et que, par conséquent, les systèmes employés en 2D peuvent toujours servir avec des données en 2D½. Seulement, il subsiste encore de fâcheuses limitations géométriques.

Si l'on se tourne vers le 3D utilisé en CAO ou en architecture, on se heurte au problème d'un manque de topologie et par la suite au manque d'outils d'analyse spatiale 3D.

L'objectif fixé a donc été de choisir un modèle géométrique, adapté au monde géographique, complété par un niveau topologique analogue à ceux des modèles 2D, mais capable de gérer tout type de situation 3D.

Le 2D½ n'est certes qu'une première étape vers la troisième dimension, mais ce type de modélisation peut maintenant céder sa place à une modélisation entièrement 3D reflétant mieux le monde réel.

En 3D,selon (Etienne Desgagné, 2010), trois niveaux de complexité basés sur le type de primitives sont utilisés pour construire les objets :

1. les structures basées sur des points et des lignes (fil de fer)
2. les structures basées sur des surfaces (B-Rep, TIN, ...)
3. les structures basées sur des solides (CSG, Voxel, ...)

2.1. Modèle Numérique de Terrain(MNT)

Le MNT est une représentation de la topographie (altimétrie) d'une zone terrestre. Généralement présenter sous la forme d'un maillage carré de pas régulier dont les altitudes des nœuds sont connues, ou sous la forme d'un nuage de points.

À chaque couple (x,y) est t'associé un «z »(qui signifie altitude) ce qui permet de créer un squelette du relief sur lequel on peut draper des images satellitaires ou des photos aériennes.

À partir des MNT on peut créer des produits dérivés tels que les courbes de niveaux, les classe d'altitudes, les cartes de ponte, relevé GPS, les données lidar...etc.

2.2. Modèle Numérique d'Élévation (MNE)

Le MNE est une représentation des élévations sur un terrain comprenant les objets sursol en intégrant un deuxième « z » correspondant à l'élévation des objets par rapport à la surface terrestre.

2.3. Construction du model 3D

1. La stéréoscopie

La photogrammétrie est une technique qui permet la mesure d'une surface observée à partir de clichés acquis en configuration stéréoscopique, en utilisant d'une part la vision stéréoscopique pour mettre en correspondance les deux images, et d'autre part une modélisation mathématique de la géométrie de prise de vue.

La stéréoscopie est la reconstitution tridimensionnelle de la forme et de la position d'un objet à partir d'un couple de clichés pris sous des angles différents, ou vision binoculaire. Le calcul de la différence de taille et de forme entre des objets projetés sur deux clichés bidimensionnels, permet donc de reconstituer le relief.

La préparation du vol est le point de départ du développement d'un MNT. D'après les objectifs, les moyens économiques disponibles, la résolution et la précision cherchée, nous fixons les paramètres suivants : le vecteur (drone, avion, satellite) ; les dates et les heures des vols ; le type de chambre photo, ce qui dépend aussi du vecteur choisi (capteur satellite, chambre analogique ou numérique, chambre métrique, semi-métrique, non-métrique, en cas de besoin résolution de scannage) ; la hauteur et la vitesse du vol (rapport base/hauteur) ; et le nombre et précision de points de contrôle terrestre (PCT).

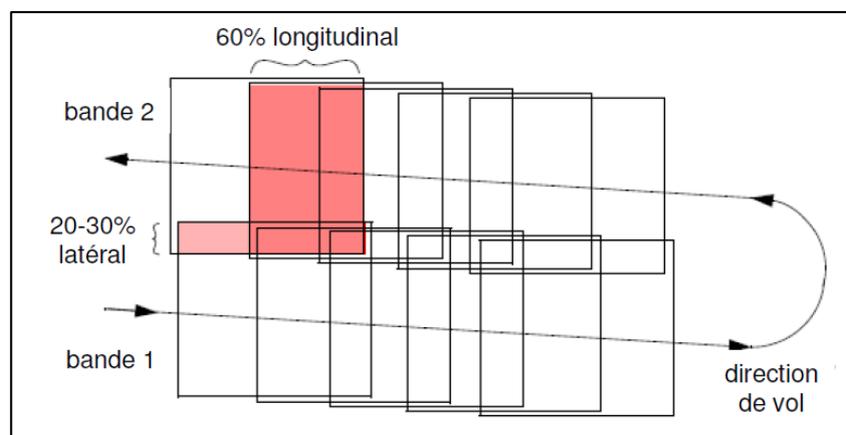


Figure 1 : Types de recouvrement entre stéréo images

La ville est obtenue par la restitution photogrammétrique en 3 dimensions des bâtiments à partir d'une prise de vue aérienne, comme exemple voici en quels mots les étapes de la constitution :

- *Première étape*: export des bâtiments depuis le logiciel de SIG ArcGis vers le logiciel de CAO/DAO Autocad.
- *Seconde étape*: import des bâtiments dans Autocad.
- *Troisième étape*: structuration des données par rapport aux informations récupérées sur le terrain.
- *Quatrième étape*: prise de photos sur le terrain et redressement des images.
- *Cinquième étape*: texturage des façades bâtiment par bâtiment.
- *Sixième étape*: intégration dans la maquette.

2. LiDAR

L'utilisation des levé LiDAR aéroportés commence à produire des résultats intéressants dans la génération des MNT/MNE.

Le levé par LiDAR aéroporté fournit une mesure directe du relief même à travers la végétation, avec une densité d'information beaucoup plus importante. Toutefois, les données LiDAR brutes ont besoin d'un filtrage afin d'enlever la végétation, ce qui peut produire des erreurs systématiques dans le MNT final.

3. Mode opératoire général

La modélisation d'un objet en 3D est un processus complexe qui demande analyse et rigueur. Afin d'obtenir un rendu réaliste, l'opérateur pourra coloriser le maillage ou le texturer avec des photographies (Francesco, 2005) Page 7

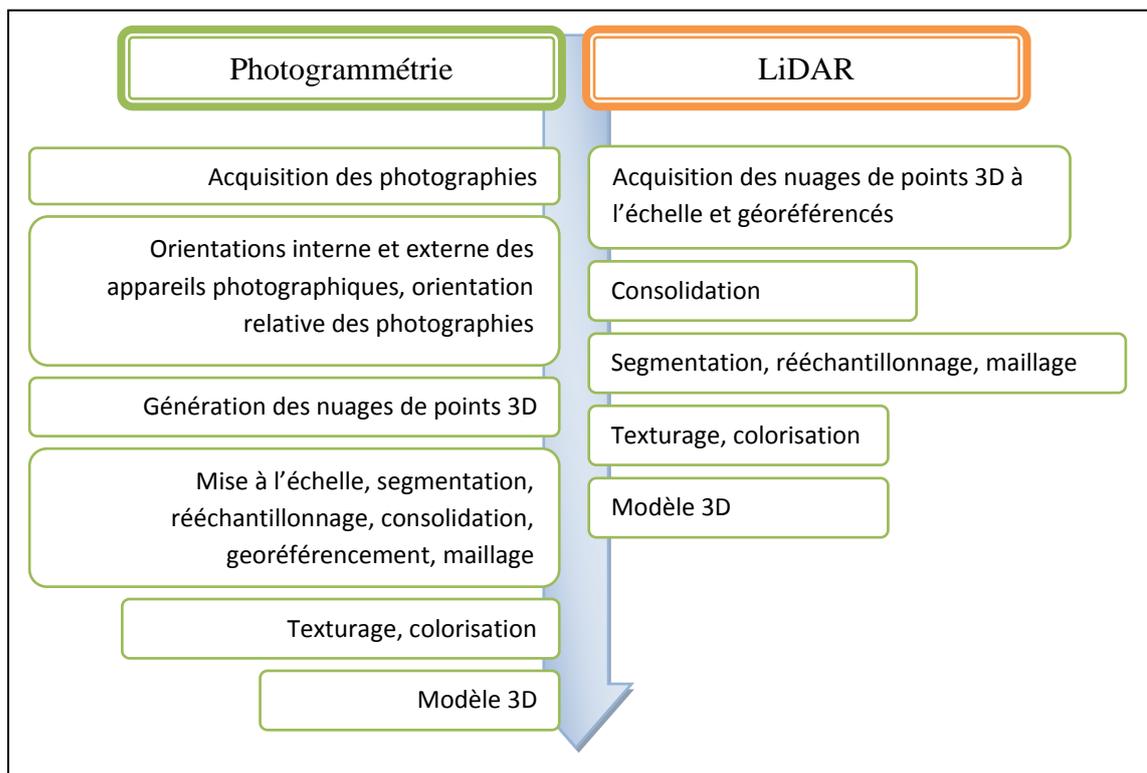


Figure 2 : Mode opératoire de LiDAR et photogrammétrie

2.4. Les Logiciels SIG 3D

un SIG 3D « Système capable de modéliser, représenter, gérer, manipuler, analyser et supporter des décisions fondées sur l'information associée à un phénomène 3D » (Mignard, 2012).

La plupart des SIG gèrent par exemple une structure topologique vectorielle, une structure matricielle à base d'images rasters et une structure 2D½ comme les modèles numériques de terrain (MNT) avec une technique de maillage comme le TIN (Etienne Desagné, 2010).

Un SIG 3D devrait évidemment offrir ces mêmes fonctionnalités tout en les adaptant à la donnée volumique. Un SIG 3D offrirait donc les outils permettant de répondre aux questions suivantes :

- Où (coordonnées x,y,z) est situé l'objet et son étendue spatiale ?
- De quel type d'objet 3D s'agit-il ?
- Comment sont répartis les objets 3D et leurs relations spatiales dans l'espace tridimensionnel ?

Un SIG 3D devrait aussi idéalement pouvoir s'adapter et interagir facilement avec d'autres systèmes. Pour ce faire, il devrait implémenter des interfaces standards et adopter les différents standards internationaux offerts par les organisations de standardisation telles que le W3C, l'ISO et l'OGC.

Il existe de nombreux logiciels 3D assurant l'acquisition, le stockage et la représentation de données géographiques. Ils peuvent être classés en trois groupes selon (Poupeau, 2008) :

- les logiciels de CAO ;
- les géomodeleurs (logiciel de CAO dédié à la modélisation d'objets spécifiques aux géosciences ou au milieu médical) ;
- les SIG 3D qui sont encore à l'état de prototype.

Les logiciels de CAO comme AutoCAD sont très utilisés par les urbanistes parce qu'ils permettent de représenter, de manière très précise, un ensemble de bâtiments avec leurs fondations, leurs fenêtres, leurs balcons, etc.

Les géomodeleurs (ex. : GOCAD, RINGMesh ou 3D geomodeller) sont très prisés par les géologues et le plus souvent par les pétroliers. Ils reconstruisent, à partir de données hétérogènes et disparates (données sismiques, de puits, etc.), des objets naturels aussi complexes que des formations géologiques sur lesquelles des simulations d'écoulement sont, entre autres, calculées.

Le SIG 3D, est issu du monde de la géomatique. Malgré des demandes exprimées dans de nombreux domaines, le développement encore modeste des SIG 3D implique que les applications actuelles restent le plus souvent limitées à la topographie (ex. : visualisation de MNT) et à l'exploitation de modèles urbains. Ces derniers proposent la reconstruction et la visualisation d'un très grand nombre de bâtiments de manière moins détaillée et moins réaliste que ceux qui sont produits à l'aide d'un logiciel de CAO.

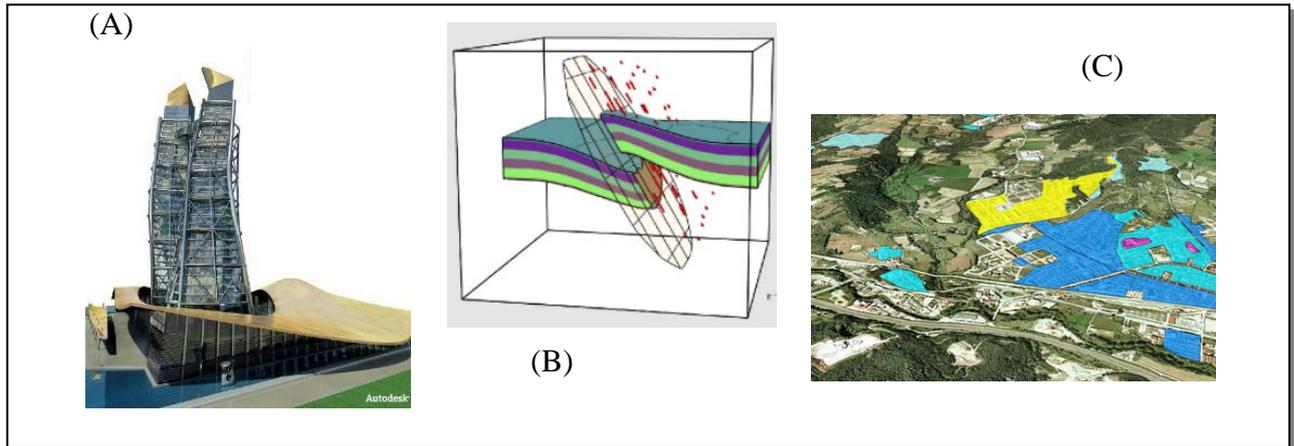


Figure 3 : Exemple des logiciels 3D.

- (A) Représentation d'un bâtiment créé à partir d'AutoCAD ou de 3D StudioMax,
 (B) Représentation d'une modélisation structural et stratigraphique stochastique (RINGMesh Web),
 (C) Représentation de l'extrait d'une ville à l'aide d'un SIG 3D.

Logiciels de visualisation 3D :

- Logiciel World Construction Set, 3D Nature : Modélisation et la visualisation de terrains photo-réalistes.
- Logiciel Virtual Forest et RAPID Surfing, Pacific Meridian Resources : Visualisation en foresterie et survol de modèle de terrain sous Arc/Info
- Logiciel Vertical Mapper, Northwood Geoscience : Extension pour la visualisation 3D du logiciel MapInfo.

Logiciels de visualisation et navigation 3D :

- Logiciel Fly!, PCI Geomatics : Outil de visualisation de terrain et de création de scènes 3D texturées ;
- Logiciel ArcView 3D Analyst, ESRI : Extension du SIG ArcView pour la visualisation et la navigation dans un environnement 3D ;
- Module 3D for Geoconcept, Geoconcept SA : Extension 3D de GeoConcept pour la création de modèles numériques de terrain (MNT), scènes 3D ou profils en long.

Logiciels de navigation, visualisation et possédant des fonctions d'analyses :

- Logiciel Environmental Visualization System EVS, C Tech Development Corp. : Visualisation 3D et analyse géostatistique d'environnements miniers et sites contaminés ;
- Erdas Logiciels IMAGINE Virtual GIS, ERDAS : Outil de visualisation et d'analyse supportant des fonctionnalités SIG dans un environnement 3D ;
- Logiciel SIS, Cadcorp : Logiciel de SIG présentant des possibilités 3D et notamment utilisé par l'Institut Géographique National français.
- Virtual Geo, Communication & Systemes : Logiciel offrant des fonctionnalités de navigation, visualisation et de SIG. Initialement utilisé comme extension de GeoConcept, il peut s'adapter aux autres SIG classiques.

I.3. La normalisation de l'information géographique 3D

La prise en compte croissante de la 3D par les logiciels SIG nécessite une normalisation de l'information géographique tridimensionnelle afin de permettre les échanges de données. Cette normalisation doit porter à la fois sur la géométrie, la topologie et sur la nature de l'objet.

3.1. Les Normes OGC et ISO

Le format GML (Geographic Markup Language) permet de manipuler tous types d'objets géographiques, les systèmes de coordonnées géodésiques, la géométrie, la topologie, le temps, les unités de mesure, et les valeurs associées. C'est un format d'échange de données vectorielles établi par l'Open Geospatial Consortium (OGC), destiné à des mécanismes de transmission de nature client/serveur (format d'échange utilisé par WMS et WFS notamment). GML est une solution techniquement intéressante grâce à (OpenOGC Web):

Un mécanisme de dictionnaire qui permet à GML d'être indépendant du registre de codes d'objets et d'attributs ou encore du registre de codes et paramètres géodésiques utilisé.

L'International Organization for Standardization (ISO) a parallèlement établi, via son comité technique 211 pour la normalisation dans le domaine de l'information géographique nommé ISO/TC211, plusieurs normes rassemblées sous la codification ISO 191xx.

La norme ISO 19107, publiée en 2003 et révisée en Avril 2015, spécifie un ensemble de schémas conceptuels permettant de décrire et manipuler les caractéristiques spatiales d'un phénomène géographique en 3D (ISO We). Elle permet la description des données vectrices regroupant l'ensemble des primitives géométriques et topologiques utilisées, séparément ou dans le même jeu de données, pour définir des objets exprimant les caractéristiques spatiales d'éléments géographiques. Cette définit également une classification des opérateurs spatiaux (fonctions permettant de manipuler, faire des requêtes, créer, modifier ou supprimer des objets spatiaux) afin de normaliser leur définition et leur implémentation.

L'OGC a adopté et recommandé la version 3.1.1 de GML compatible ISO/TC211. Parallèlement, le comité ISO/TC211 étudie la validation de la norme ISO 19136, cette dernière correspondant à la recommandation OGC GML 3.2.

3.2. Le Format CityGML

Lancée par un groupe d'Allemands (GeoData Infrastructure North-Rhine Westphalia), cette initiative réunit plus de 70 entreprises, municipalités, laboratoires de recherche qui coopèrent au développement et à l'exploitation commerciale de modèles 3D interopérables.

La norme CityGML (The City Geography Markup Language) se donne comme objectif de représenter les objets urbains à trois dimensions. Elle définit ainsi les classes et les relations des objets trouvés dans les villes de plusieurs points de vue : géométrique, topologique, sémantique et d'apparence. Le format CityGML est un modèle de données ouvert, basé sur le stockage et l'échange de modèles 3D urbains, qui dérive directement du format GML. Cette représentation, qui se destine devenir un standard, a été accueillie comme une excellente proposition par l'OGC.

Cette norme reconnaît des objets tels que les MNT sur lesquels seront posés les bâtiments, les ponts, les tunnels, les murs de soutènement, les rivières, mais aussi les routes, les voies de chemin de fer, les voies navigables, les réseaux de transports ou encore la végétation, le mobilier urbain, etc.

CityGML supporte différents niveaux de détail (LOD) .LODs sont nécessaires pour tenir compte des processus de collecte de données indépendants avec les exigences d'application différents. En outre, LODs faciliter la visualisation efficace et l'analyse des données. Dans un ensemble de données CityGML, le même objet peut être représenté dans les différents LOD simultanément, ce qui permet l'analyse et la visualisation d'un même objet à l'égard de différents degrés de résolution. En outre, deux ensembles de données CityGML contenant le même objet dans LOD différente peuvent être combinés et intégrés. Cependant, l'utilisateur ou l'application sera responsable pour assurer que les objets dans les différents niveaux de détail se réfèrent au même objet du monde réel (Gerhard Gröger, Thomas H. Kolbe, Claus Nagel, 2012).

- LOD0 : régional, représentation du terrain : une orthoimage 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, p.e 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...

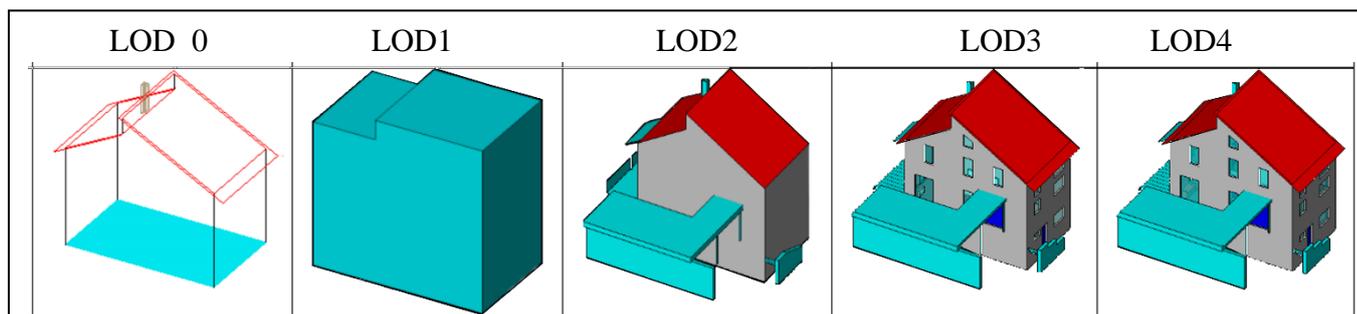


Figure 4 : Les cinq niveaux de détails (LOD) définis dans CityGML

3.3. Le Format IFC

Le format IFC (Industry Foundation Classes) est un format de fichier standardisé (norme ISO16739) orienté objet utilisé par l'industrie du bâtiment pour échanger et partager des informations entre logiciels, sous trois extensions de fichier .ifc, .ifcXML et .ifczip (IFC Web).

La première version IFC 1.0 a été créée en janvier 1997 et couvre les domaines suivants : la conception architecturale, le génie climatique, la maîtrise d'œuvre et la gestion de patrimoine. Nous en sommes maintenant à la version « IFC4 Add1 », normalisée en Août 2015.

D'après (IFC Web) qui décrit les IFC de la manière suivante : « Ils représentent une alternative stable, pérenne et normalisée aux formats DXF/DWG qu'utilisent les logiciels commerciaux actuels comme AutoCAD. Il s'agit d'une approche orientée objets de construction. Elle englobe non seulement les composants tangibles comme les portes, les murs, les ventilateurs, etc. mais aussi les concepts abstraits comme les espaces, l'organisation, les processus, etc.» Ils restent cependant cantonnés à la description des bâtiments, d'où l'extension IFC-Bridge, en cours de rédaction, devant permettre les échanges de données de conception pour les ouvrages d'art.

Selon (Kwnl web), il y a la possibilité de faire un passage du format IFC vers CityGML facilement.

3.4. KML et KMZ

KML que l'on peut traduire par < langage à base de balises géolocales >, est un langage basé sur le XML et destiné à la gestion de l'affichage de données géo-spatiales dans les logiciels Google Earth, Google Maps, Google Mobile et World Wind. C'est un standard international de l'OGC qui utilise le format COLLADA.

Les fichiers KML peuvent également se présenter avec l'extension *.kmz qui est la version zippée du fichier KML. Les fichiers KMZ sont très similaires aux fichiers ZIP. Ils permettent d'intégrer de multiples fichiers dans un fichier unique, en compressant leur contenu pour accélérer le téléchargement. Il est ainsi possible de rassembler plusieurs fichiers KML et leurs images dans un fichier KMZ unique.

Comme tous les fichiers XML, le KML est capable d'intégrer des bases de données que l'on visualise ensuite par infobulles sous Google Earth ou Google Maps. De nombreux logiciels de SIG prennent en compte ce format notamment ArcGIS Explorer, ArcScene ou encore ArcGlobe d'ESRI. Voilà un exemple de fichier KML qui représente la ville de Mostaganem avec leurs coordonnées géographiques :

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
<Document>
<Placemark>
  <name> Mostaganem Ville </name>
  <description> Mostaganem Ville </description>
  <Point>
    <coordinates> 35.93, 0.09 ,0</coordinates>
  </Point>
</Placemark>
</Document>
</kml>
```

I.4. Difficulté dans les SIG 3D

Selon (Poupeau, 2008) et (Alias Abdul-Rahman and Morakot Pilouk, 2007) le développement des SIG 3D est freiné par:

- la difficulté d’acquérir des objets à la géométrie complexe ;
- l’incapacité de gérer l’intégration de données dont la géométrie et la topologie sont modélisées de manières différentes ;
- les problèmes de (re)mise en cohérence des données et de mise en relation des objets. Les modèles de description des relations entre objets, fondés sur des principes de topologie, nécessitent une reconstruction précise de la géométrie des objets. Si deux objets ne sont pas parfaitement mis en relation, certains calculs risquent d’être erronés ;
- le manque d’outils d’analyse spatiale et de requêtes 3D ;
- les structures de données, puisque bien qu’existent de nombreuses structures à la fois pour les données 2,5D et 3D, chacune possède ses points forts et ses faiblesses ;
- les modèles de données : les données spatiales peuvent être modélisées de différentes manières, chaque modèle devant être capable de décrire les relations entre les données de telle sorte que l’information puisse être générée à partir de celles-ci.

Dans des autres d’études cartographique, la généralisation cartographique 3D est la plus grande difficulté dans les SIG 3D.

I.5. Les exemples de projets SIG 3D urbain (modèles 3D)

5.1. La ville du Havre

Dès l’année 2000, la ville du Havre s’est investie dans la constitution d’un modèle 3D urbain dont la création et la mise à jour a été confiée à son service Système d’Information Géographique Urbain (SIGU). Ainsi MNT, bâtiments 3D texturés, mobiliers urbains et arbres issus de bibliothèques d’objets et bosquets issus du MNE sont au rendez-vous dans ce modèle. Sa constitution est aujourd’hui achevée et sa diffusion s’effectue en interne via un intranet mais son ouverture vers le grand public est à l’étude. Le modèle 3D urbain du Havre trouve son utilité dans l’aide à la décision et l’information des citoyens, dans la planification en vue du réaménagement de quartiers, lors d’implantations de transports publics tels que le tramway ou pour la simulation d’installation de mobiliers urbains.



Figure 5 : Maquette du futur outil web de visualisation du Havre 3D

5.2. La ville de Vienne

Le modèle 3D urbain de la ville de Vienne fut constitué à partir de 2003 par le Service Géodésique de la ville au moyen des outils CityGrid de la société GeoData. Il s'appuie sur une classification en trois niveaux de détails en ce qui concerne les bâtiments.

La création et la mise à jour des bâtiments du modèle est assurée par 2 à 3 personnes en moyenne et s'effectue en continu en liaison avec celles des autres données topographiques de la ville. Ainsi chaque feuille cadastrale est contrôlée et mise à jour tous les 3 ans.

Ce modèle 3D permet d'effectuer des analyses spatiales 3D sur notamment l'implantation de nouveaux bâtiments. Ainsi, pour l'implantation de la Tour Kometgründe à Vienne, une étude de visibilité de l'immeuble a été menée sur le centre-ville où les bâtiments alors il est possible de voir si des axes très fréquentés ou des sites touristiques sont impactés par la création de l'immeuble.

Il est possible également de prévoir le réaménagement d'un quartier entier en modélisant les nouveaux bâtiments au sein du modèle 3D urbain existant afin de percevoir son impact sur l'environnement dès le processus de planification. Ce modèle devient alors un formidable outil d'aide à l'information et à la décision.

L'exemple ci-dessous porte sur le « Masterplan » de la gare centrale de Vienne.

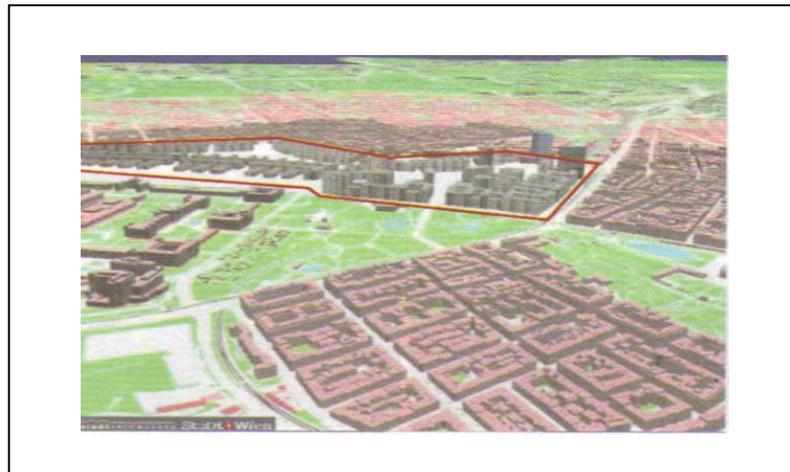


Figure 6 : Élaboration d'un « Masterplan » pour le développement urbain

1.6. ESRI City Engine

Plusieurs solutions complètes sont apparues : EON Software propose LumenRT GeoDesign2015, ESRI propose deux produits ArcGis Pro 1.3 et City Engine 2015.2.

CityEngine est un produit autonome de modélisation de villes en 3D qui s'adresse aux professionnels de l'Architecture et de l'Urbanisme dans le cadre de la planification urbaine, simulation, projets d'architecture ou de production générale de contenus 3D. C'est une solution

unique qui permet la modélisation conceptuelle et la création de bâtiments et de villes en 3D de manière efficace et rapide, grâce à l'application de règles procédurales (ESRI Web).

Il permet : la réalisation rapide de différents scénarios, la création d'un contexte réaliste et le partage des plans d'urbanisme.



Figure 7 : CityEngine.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu les SIG et les SIG 3D qui nécessite un très long parcours allons de l'acquisition à travers plusieurs étapes jusqu'à la création du modèle 3D, passant par les divers logiciels ainsi que les formats de stockage possibles pour les données 3D sous les normes OGC.

Les SIG 3D sont des outils aide à la décision, à la planification et à la gestion, leurs points forts est de représenter la réalité en mode virtuel, indispensable dans la plupart des projets d'aménagement.

Dans le chapitre suivant, nous allons éclairer le concept du Smart City et reprendre à la question : quel est le rapport entre le SIG et les Smart City ?

Chapitre II

Smart City

Introduction.....	15
II.1.État de l’art.....	17
II.2. Quartier intelligent	19
2.1. IssyGrid	19
2.2. UrbanEra.....	19
II.3. SIG et Smart city	20
Conclusion	22

Chapitre II : Smart City

Introduction

Les villes hébergent aujourd'hui plus de la moitié de la population mondiale et représentent les plus gros consommateurs de ressources naturelles, notamment d'énergie. Elles concentrent donc l'essentiel des activités humaines et des enjeux qui y sont liés (Jacques Véron, 2007). Plus de 60 pour cent de la population mondiale vivra dans des villes d'ici à 2050 (UN Web)

Le concept de ville intelligente est apparu. La contrainte tient à la nécessité pour les villes d'optimiser l'utilisation de leurs ressources (énergie, eau...) afin de réduire les coûts associés à leur consommation et d'inventer des modèles de fonctionnement plus « durables ». Il s'agit d'optimiser les flux de la ville (transport, information...) afin de faciliter les activités des parties prenantes.

« La smart city ne se définit pas par ses solutions mais par les objectifs qu'elle cherche à atteindre ».(Duchemin, 2015).

Les villes intelligentes peuvent être identifiées et classées selon six dimensions principales selon (Giffinger, 2007), Ces critères sont comme suite:

1. Economie intelligente
2. Mobilité intelligente
3. Environnement intelligent
4. Habitants intelligents
5. Mode de vie intelligent
6. Administration intelligente

Ces six critères se connectent avec les traditionnelles théories régionales et néoclassiques de la croissance et du développement urbain. Ils sont respectivement basés sur :

1. les théories de la compétitivité régionale
2. l'économie des transports et des technologies de l'information et de la communication
3. les ressources naturelles
4. les capitaux humains et sociaux
5. la qualité de vie
6. la participation des citoyens à la vie démocratique de la ville.

La notion d'intelligence inclut ici les concepts d'efficience énergétique, d'habitat intelligent, de réseaux intelligents et de mobilité douce.

Selon (TechnoMontréal, 2011) Le concept de « smart city » se réfère donc à l'intégration des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) et de l'intelligence urbaine dans les principaux champs de responsabilité de la gestion urbaine, soit:

- Le développement économique;
- La cohésion et l'inclusion des communautés et des citoyens;
- Le développement durable;
- L'efficacité des processus et des opérations municipales.

Pour avoir une ville intelligente le tableau suivant indique les six dimensions selon (Simard, 2015) :

Dimensions de la ville intelligente	Défis urbains actuels	Outils de mise en œuvre	Objectifs et résultats visés
Gouvernance intelligente	Gouvernance fermée et peu transparente.	<ul style="list-style-type: none"> • Panneaux informatifs électroniques • Web diffusion • Logiciel pour le suivi des requêtes en ligne 	Gouvernance intégrée, transparente, ouverte et favorisant la coopération.
Citoyen intelligent	La qualité des services rendus aux citoyens, La participation citoyenne.	<ul style="list-style-type: none"> • Plateforme en ligne pour favoriser la participation du public 	Favoriser la créativité et la flexibilité des citoyens et la participation à la communauté dans le but d'améliorer son milieu de vie.
Économie intelligente	Difficulté d'attirer de nouvelles entreprises au centre de la ville.	<ul style="list-style-type: none"> • Transactions en lignes • Échanges de données informatisées 	Attirer des entreprises et de la main-d'œuvre, créer des emplois durables créant de la valeur.
Mobilité intelligente	Infrastructures routières vieillissantes, congestion du réseau routier, demande croissante en transport en commun.	<ul style="list-style-type: none"> • Systèmes de géolocalisation • bornes de recharge électriques • écrans électroniques • Application cellulaire • Caméras 	Optimiser les différents systèmes de transport en commun et transport actif, le tout coordonné efficacement par des systèmes technologiques.
Environnement intelligent	Consommation des ressources naturelles, gestion de l'eau, gestion des matières résiduelles.	<ul style="list-style-type: none"> • Capteurs • senseurs • smart grids 	Utiliser les ressources naturelles de façon durable et protéger l'environnement naturel. Favoriser la planification et l'aménagement durable du territoire. Créer un environnement sain qui favorise une vie de quartier.
Habitat intelligent	Gestion du développement urbain, étalement urbain, qualité et accessibilité aux services offerts.	<ul style="list-style-type: none"> • Plateforme d'échange web pour les quartiers • Nouvelles technologies pour les habitations écologiques 	Crée un milieu de vie sécuritaire qui rassemble des composantes culturelles, des services de santé et d'éducation, qui offre des bâtiments de qualité et où il y a une cohésion sociale.

Tableau 1. Synthèse des six dimensions pour devenir une ville intelligente.

II.1.État de l'art

Le concept de smart city a commencé à se concrétiser en Corée du Sud au début des années 2000 avec le projet U-Korea. La ville de Songdo propose un maillage wifi total et de grande qualité, une présence accrue de vidéosurveillance mais également des systèmes innovants de gestion de l'énergie. La smart city s'apparente à son commencement à une ville connectée à outrance et à la pointe des technologies modernes : une ville ubiquitaire.(Duchemin, 2015)

L'approche 'Smart City' consiste à partir du fait que la ville est un système de systèmes plus ou moins complexes (Énergie, transport, systèmes de santé, déchets, etc.). L'idée est d'interconnecter ces systèmes grâce aux TIC pour en faire un seul système global et de profiter de cette interconnexion pour supprimer les composantes redondantes et exploiter les données globales collectées pour une meilleure efficacité dans l'utilisation des ressources et infrastructures et une amélioration de la qualité de vie des citoyens à travers un développement socioéconomique innovant et respectueux de l'individu et de l'environnement.

Plusieurs expériences de villes intelligentes ont vu le jour dans la dernière décennie. Chaque expérience est unique car elle essaye de répondre à la problématique spécifique de la ville considérée. On peut ainsi citer certaines expériences.

Helsinki : la ville ouverte

Helsinki a fait le choix de l'Open Data et plus largement de l'open gouvernement. "*Our dream is that every public agenda, every euro and any public issue could be easily analyzed, visualized, understood and contributed to by the citizens in advance.*"

Vienne : innovation

Mise en place un système permettant de promouvoir l'innovation, l'habitat écologique, la proximité des services grâce à une bonne gouvernance « numérique », tout en se souciant de la qualité de vie des citoyens.

Paris : transport intelligent

Mise en place les systèmes Velib et Autolib en utilisant les TIC; elle a ainsi mis en place, un système de transport intelligent basé sur le partage des ressources permettant de réduire le trafic routier dans la ville et diminuer ainsi la pollution atmosphérique.

Rio de Janeiro : la ville pilotée, supervisée, prédictive

Dans l'objectif de préparer la Coupe du Monde de 2014 et les Jeux Olympiques de 2016, la ville de Rio de Janeiro s'est dotée d'un centre de services qui supervise le réseau urbain via l'utilisation de caméras. 900 caméras aident à élaborer des modèles de prédictions et à prévenir les habitants en cas d'accidents naturels ou de difficultés de la circulation (via les sirènes et les réseaux sociaux).

Stockholm : la ville green et connectée

Stockholm a mis en œuvre un projet d'aménagement numérique avec notamment le déploiement d'infrastructures hauts débits, la concentration d'entreprises du numérique dans un

même quartier et l'interopérabilité des infrastructures. Elle met en avant le côté Green IT de ses développements qui visent à réduire les consommations énergétiques et la pollution.

Masdar City (Masdar Web)

La construction de la ville de Masdar a commencé par l'édification des six premiers bâtiments du Masdar Institute de façon à enclencher rapidement des activités d'enseignement et de recherche. Ces bâtiments sont destinés à l'enseignement (salles de classe et de travaux pratiques), la recherche (laboratoires, bibliothèque) et la vie étudiante (logements, restaurants, magasins).

Le projet urbain est de construire une ville qui se rapproche le plus près possible d'un modèle zéro émission, zéro déchet. La ville, de 7 km carrés, devrait être en mesure de loger 50000 résidents et d'accueillir en plus 40000 travailleurs non-résidents. L'objectif de réalisation avait été initialement fixé à 2025.

Masdar City représente un type particulier de ville intelligente. Les acteurs de la ville s'engagent dans une politique massive de réaménagement urbain : des îlots et des quartiers à haute performance énergétique et environnementale, jusqu'à une ville nouvelle à énergie positive sont construits ex nihilo. La ville est conçue dans une stratégie d'optimisation énergétique locale, mais pour des raisons de sécurité d'approvisionnement, elle est aussi connectée à un réseau central de distribution d'énergie. Les espaces construits fonctionnent selon les principes de l'économie circulaire, qui cherche à rapprocher le fonctionnement des écosystèmes industriels de celui, quasi cyclique, des écosystèmes naturels, en optimisant les flux d'énergie et de matière.



Figure 8 : Plan de Masdar City

II.2. Quartier intelligent

Un quartier est une division administrative d'une ville et une échelle d'appropriation d'une partie de la ville par ses habitants. Des nombreux projets d'éco-quartiers se développent la construction des cartière intelligent (Jolas et al., 2012)

2.1. IssyGrid, premier réseau de quartier intelligent en France lancé en mai 2011. Ce réseau inédit a pour objectif de construire un modèle de gestion et d'optimisation de l'énergie (production et distribution) à l'échelle du quartier et cela grâce à des technologies informatiques.

2.2. UrbanEra : Premier programme d'accompagnement des collectivités locales dans leurs projets éco-urbains, ce programme optimisera l'ensemble des paramètres du quartier durable et utilisera des outils de pilotage et de mesure des performances permettant d'assurer dans la durée une gestion urbaine optimisée tout en privilégiant le confort des utilisateurs.



Figure 9 : Cartier intelligent

L'objectif de ce projet est de réaliser des économies et de réduire l'empreinte carbone en optimisant les consommations et en mutualisant les ressources entre les bureaux, les logements et les commerces. Descriptions des solutions mises en œuvre (Jolas et al., 2012):

Surface à aménager	: 12,5 ha
Vergers	: 4 ha
Surface à construire	: 120 000 m ²
Nombre de résidence	: 11
Nombre de logements	: 1538 dont 329 logements sociaux
Surface des commerces	: 1600 m ²
Crèche	: 60 berceaux
Places de parking	: 2200 places souterraines et 75 en surface (1,2 places/logement)

II.3. SIG et Smart city

Mais quel est le rapport entre le SIG et les Smart City ?

Pour reprendre à cette question on s'intéresse aux champs d'application (les villes intelligentes) et les concepteurs mondiaux des produits logiciels dans ce domaine.

Selon le cabinet d'analyste américain, ESRI est le leader mondial du marché des logiciels SIG, suivi de Intergraph et GE Energy ce qui en fait l'acteur de référence en matière de géomatique et de SIG.

Selon ESRI, pendant tout le cycle de vie de l'infrastructure, le SIG peut reprendre à plusieurs questions soit dans la phase de conception, de construction et d'exploitation

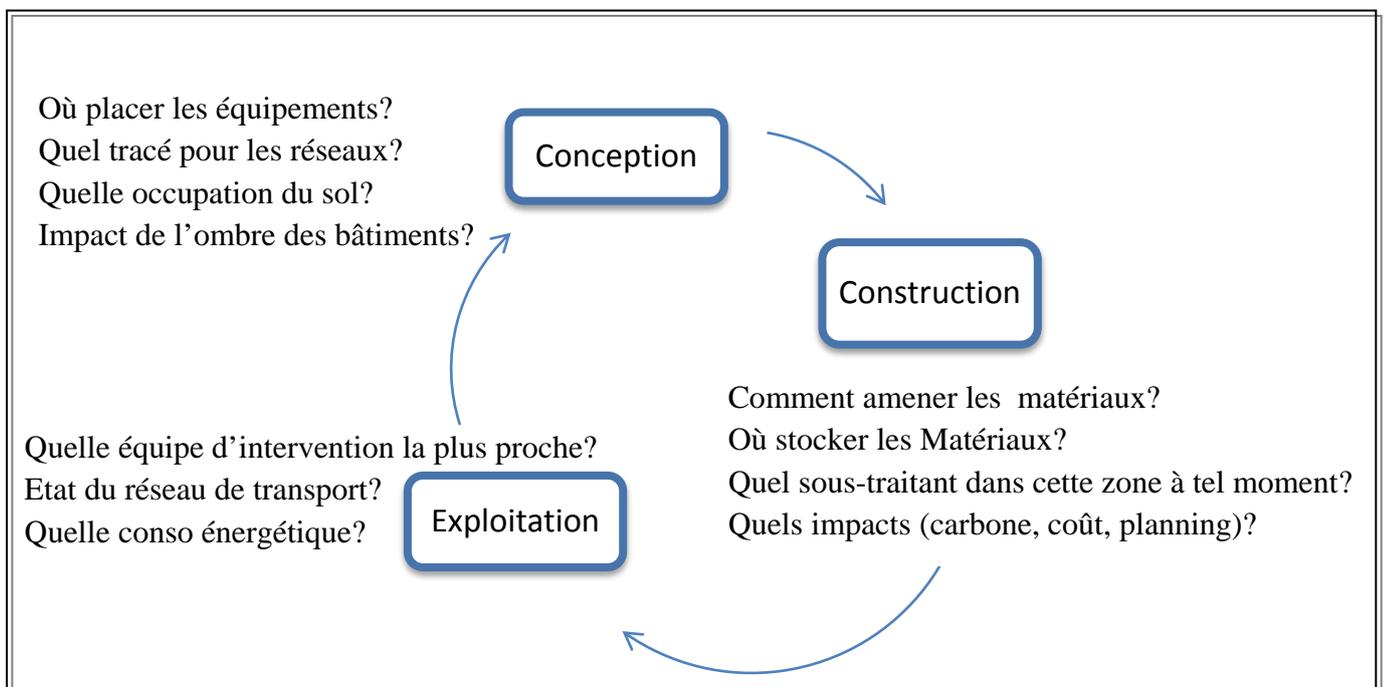


Figure 10 : Importance du SIG

Un SIG peut :

- Jouer un rôle fédérateur (données, intervenants, métiers)
- Concevoir des cartes aux communes pour la planification, la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance
- Permettre la supervision et l'intégration du travail terrain
- Permettre la vision d'ensemble des projets
- Constituer un outil d'analyse et d'aide à la décision
- Spatialiser les approches métiers (écologique, gestion des coûts, gestion d'équipements, gestion immobilière, etc...)
- Etre un outil de communication et de promotion

La première phase de conception s'appuie sur les données d'entrée, l'esquisse d'un scénario est très importante.

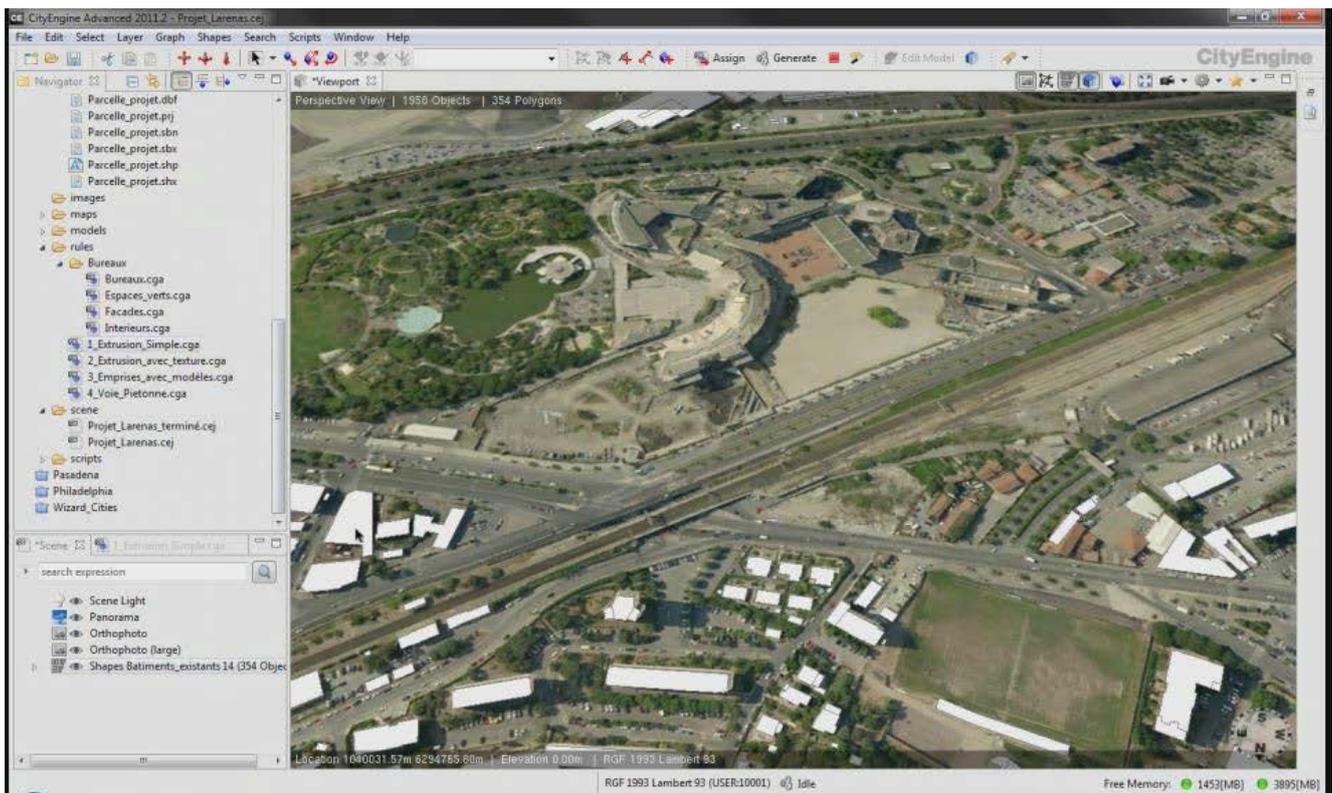


Figure 11 : Phase de conception, esquisse d'un scénario (CityEngine)

Et la deuxième phase de traitement des données est pour les analyses possibles et la validation

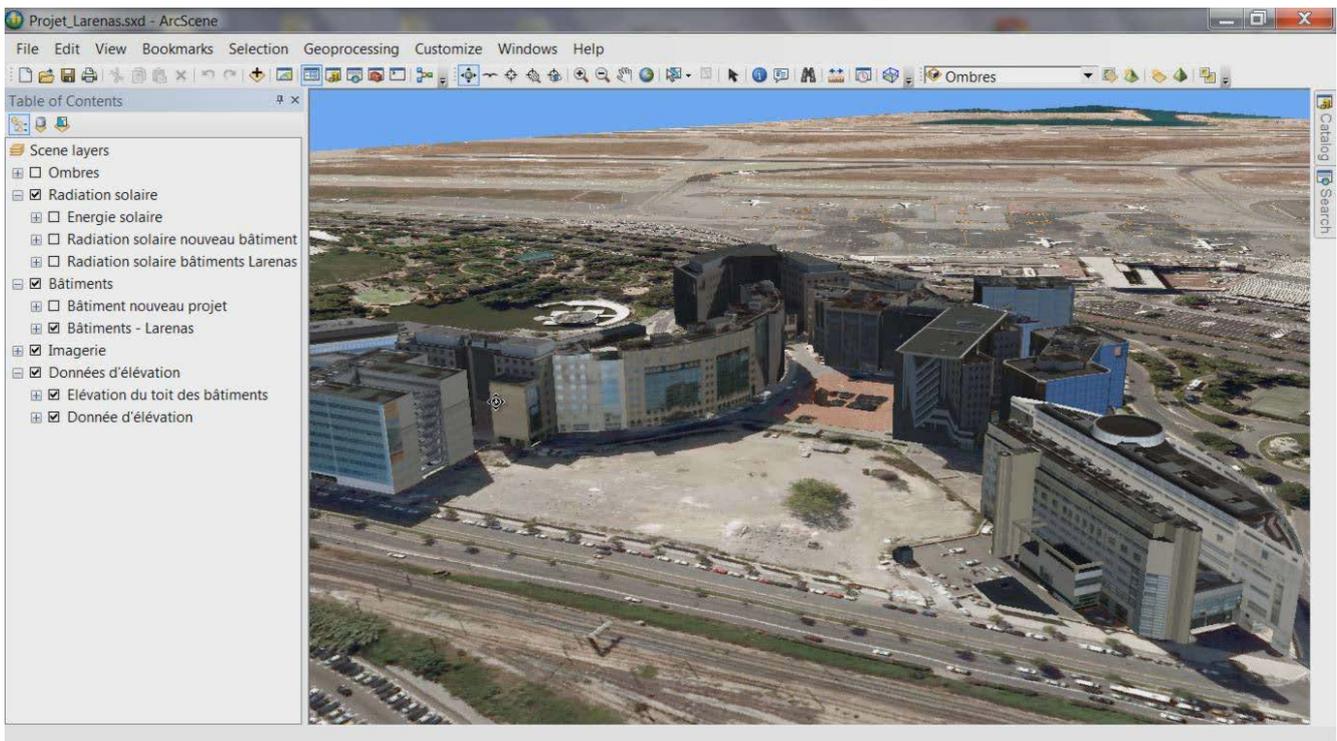


Figure 12 : Phase Analyse et validation

L'avantage du SIG est de faciliter l'accès et l'interrogation de l'information, comme le montre la figure suivante :

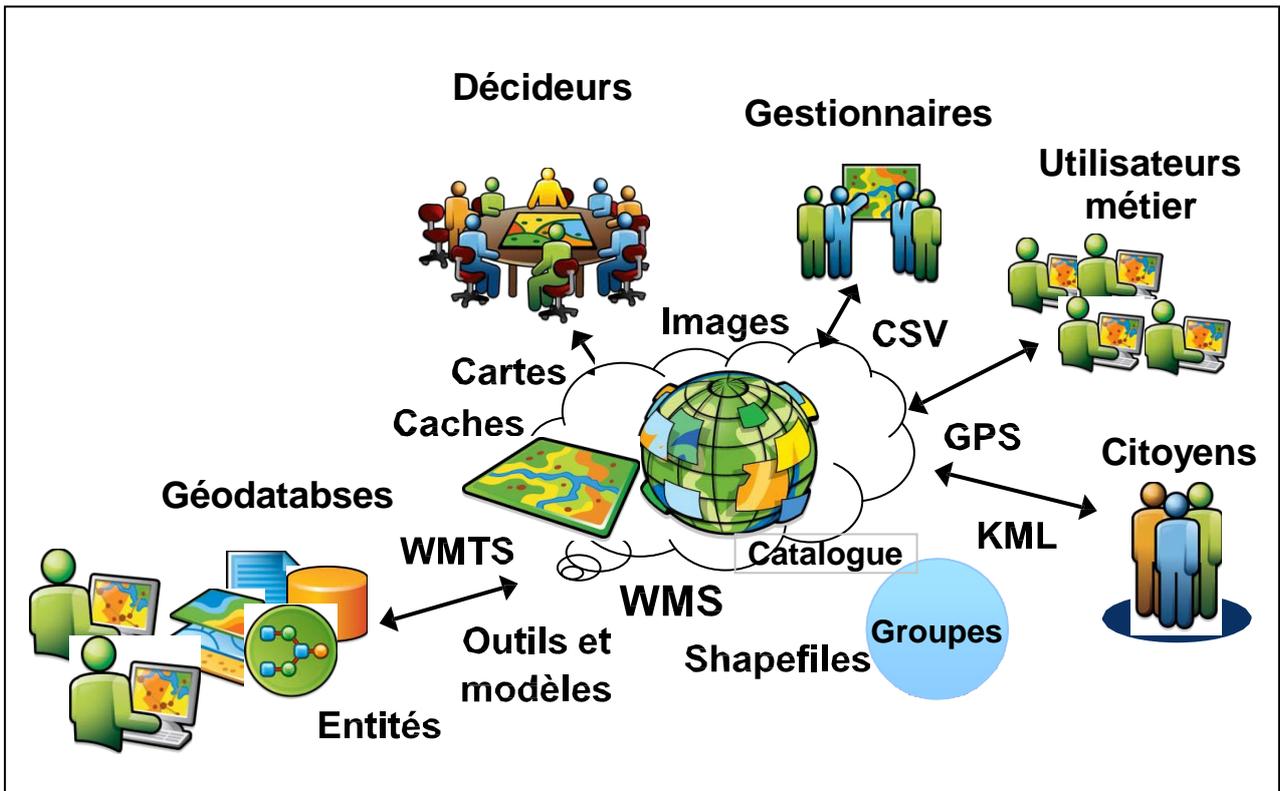


Figure 13 : Le SIG comme outil de partage

Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu le concept du Smart City qui se définit par les objectifs qu'elle cherche à atteindre et on a pu répondre à la question proposée au chapitre précédent.

Il sera très utile d'utiliser les SIG 3D pour obtenir des solutions très importantes pour la modélisation des villes intelligentes, les simulations de phénomènes socioéconomiques et la planification des infrastructures urbaines vu à la puissance des SIG de l'intégration des technologies 3D.

Chapitre III

Réalisation

Partie Méthodologique

III.1. Introduction	23
III.2. Problématique	23
III.3. Objectifs de travail	24
III.4. La description du la zone de notre étude	25
III.5. Définition des données	25
III.6. Choix des outils de travail	25
III.7. Intervenants.....	27
III.8. La réalisation du projet	27
III.8.1. Définition des besoins	29
III.8.2. Les axes ciblés	29
III.8.3. Enquête	30
III.8.4. Résultat et analyse	30
III.8.5. L'avantage de la solution choisi	32
III.8.5.1. L'usage des données géographiques	33
III.8.5.2. Ergonomie de l'interface d'utilisation	33
III.8.5.3. Usage des règles (rules)	33
III.8.5.4. l'importation et l'exportation des objets	33
III.8.5.5. L'utilisation des données OpenSreetMaps (OSM) et shapfile	33
III.8.5.6. Librairie "3D Plant"	34
III.8.5.7. SDK CityEngine.....	35
III.8.5.8. Formats 3D standard	35

Partie Méthodologique

III.1. Introduction

La réalisation d'un prototype de smart city à l'aide d'un SIG 3D nécessite une bonne démarche à suivre et une méthodologie de travail bien précise afin d'aboutir à des résultats qui satisfassent les besoins. Dans ce chapitre nous allons expliquer les différentes méthodes et démarches que nous allons suivre pour la réalisation et la mise en œuvre de notre projet SIG, ainsi que la description de la zone d'étude.

III.2. Problématique

La ville intelligente utilise et insère les nouvelles technologies d'information et de communication dans ces différents secteurs dans le but d'optimiser, de gérer et de contrôler l'utilisation des infrastructures existantes et d'améliorer la qualité des services rendu aux citoyens, pour que la ville apparaisse comme innovante et créative.

Donc on a besoin de rendre notre ville intelligente non seulement pour mieux vivre ensemble mais aussi pour préserver les ressources, favoriser l'innovation, créer des emplois, optimiser la gestion des services publiques, le transport urbain, l'énergie, l'aménagement, la planification...etc.

Le concept de SIG est lié de très près aux progrès des technologies d'information et de communication puisque les SIG constituent des outils très adéquats pour l'exploitation des données spatiales. En effet, il propose des fonctionnalités divers qui se focalisent principalement autour de la représentation, la gestion et l'interrogation des phénomènes géo-localisée dans l'espace en temps réelle. Sauf que quelle que soit la solution SIG utilisée, certaines problématiques spatiales ne peuvent se résoudre qu'avec des données 3D et des fonctionnalités d'analyse exploitant cette dimension ; d'où le besoin de la modélisation de l'espace géographique en tridimensionnelle. Le SIG 3D est outils puissants pour la gestion des phénomènes spatiaux, il offre des techniques et des fonctionnalités très avancées pour les espaces 3D.

Un SIG 3D doit donc permettre non seulement la gestion des données 3D, mais permettre aussi de modéliser et de simuler des scènes 3D. Il permet d'autre part, de proposer des scénarios et de permettre une meilleure prise de décision en facilitant la compréhension du monde réel, en répondant à la fois à des problématiques très concrètes mais aussi en offrant les capacités de simulation et de projection dans le futur. Ceci est particulièrement évident pour les bâtiments et les infrastructures dans les environnements urbains ou naturels dans lesquelles nous vivons. Cela à partir des données du SIG. L'importance des SIG réside dans leur capacité avancée en termes de traitement et d'analyse des données spatiales.

C'est pour cette raison que nous avons ciblés comme solution la mise en place d'un prototype de smart city qui illustre l'usage d'un SIG 3D pour répondre à des problématiques de gouvernance.

III.3. Objectifs de travail

L'objet de ce mémoire de fin d'étude est de montrer ce qu'apporte un Système d'Information Géographique (SIG) 3D pour la gestion des villes intelligentes en utilisant Esri CityEngine.

Puisque les villes intelligentes répondent à des multiples défis, nous avons choisi les solutions apportées par le concept de ville intelligente dans le but de mesurer et de superviser les infrastructures pour avoir la possibilité d'agir, et de rendre la ville plus innovante et plus communicante en expérimentant de nouvelles technologies. Ce qui correspond à l'un des objectifs de la ville intelligente. Comme thématique nous pouvons citer :

- La réduction des coûts d'éclairage public dite éclairage intelligent. C'est l'optimisation de l'utilisation d'énergie avec l'emploi d'équipement tel que green-tech, l'éclairage modulaire selon la présence ou bien éclairage intensif selon l'évènement.
- La gestion de la mobilité et des places de parking, comme dans le cas de la ville de Barcelone.

La modélisation 3D de la ville et la réalisation d'un SIG qui gère les indicateurs de la ville permet de :

- Effectuer des analyses 3D spatiale, et thématique du domaine urbain : les modèles 3D finaux de la ville peuvent être exploités loin de la visualisation, par la réalisation des analyses 3D sur les différentes composantes urbains, et d'autres analyses sur différentes thématiques (sociale, économique...etc.).
- Réaliser des simulations de positionnement et d'environnement : les modèles 3D finaux de la ville peuvent aussi être exploités pour effectuer des simulations 3D dans plusieurs domaines (sécurité, environnement...etc.), ce qui nous rapproche de la réalité.
- Exécuter des requêtes de sélection pour extraire des informations attributaires et localiser les différents objets.
- L'aide à la définition de la stratégie d'approche pour la sécurité civile.
- Un modèle 3D dédié au touriste pour avoir une vue plus précise des endroits à visiter.

L'objectif principal du projet est de proposer un prototype SIG orienté vers la 3D qui combine la modélisation des villes intelligentes, l'utilisation des modèles 3D et l'intégration de la notion smart aux villes modernes.

III.4. La description du la zone de notre étude

La zone de Salamandre est répartie entre deux commune Mostaganem et Mazagran (voir la figure suivante), avec une superficie d'environ 3.5 Km² (estimée année 2013). La superficie de l'étude est estimée à 1 km². Elle a été déterminée par rapport à la disponibilité des indicateurs ciblés.

La zone de Salamandre est une zone touristique qui contient la plupart des services administratifs. Elle est à la fois une cité administrative et une zone touristique.



Figure 14 : La Salamandre (google Maps)

III.5. Définition des données :

Les données utilisées dans notre travail sont de différents types :

Données Raster :

- Un modèle numérique de terrain MNT Source : <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Des photos aériennes (satellite) Source : Bing.com et Arcgis Online

Données vecteur : Un plan numérique de la Salamandre sous format Autocad.

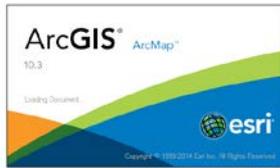
Source : bureau d'études privé « consulting » à Salamandre.

III.6. Choix des outils de travail

Afin de réaliser notre travail, le choix des outils a été une étape très importante. Pour faire le plan de la Salamandre et pour la création de tous les objets géographiques. Le système de projection utilisé : Mercator WGS84, les coordonnées UTM (Universal Transverse Mercator) Zone 31N (Nord).

Nous avons utilisé les logiciels :

➤ ESRI ArcGIS 10.3



Le logiciel dispose de toutes les fonctionnalités nécessaires à la réalisation du projet (géoréférencement, connexion à des périphériques GPS, connexion à des bases de données, création de couches, analyse statistique, analyse spatiale, édition de cartes « papier»). Avec une licence d'évaluation de 60 jours.

➤ ArcGIS Online



ArcGIS Online

Il permet de créer et partager des cartes et réaliser toutes les opérations nécessaires avec une licence d'évaluation de 60 jours.

➤ Esri CityEngine 2015.2



Le générateur de modèles urbains 3D d'Esri, avec une licence d'évaluation de 30 jours de développement.

➤ Adobe Photoshop CS4



Adobe Photoshop est un logiciel de retouche, de traitement et de dessin assisté par ordinateur édité par Adobe. Il est principalement utilisé pour le traitement de photographies numériques

➤ DraftSight 2016



DraftSight est un logiciel gratuit de CAO 2D destiné aux ingénieurs, architectes, designers, dessinateurs, étudiants et éducateurs. Il permet de créer, éditer et visualiser des fichiers DWG et DXF existants et de créer de nouveaux fichiers.

➤ Microsoft Access



La base de données a été conçue dans Access. Le logiciel Access a été utilisé car il permet de visualiser le modèle conceptuel des données, de vérifier la validité des relations entre les tables et de saisir facilement l'information provenant des enquêtes de terrain.

➤ Adobe Dreamweaver



Dreamweaver fournit des fonctionnalités de transfert de fichiers et de synchronisation au serveur, la capacité de trouver et de remplacer des lignes de texte ou de code et des expressions régulières dans tout le site Web.

Dans notre travail on a utilisé cette application pour la création d'un site web pour la diffusion du model en mode local

➤ Un appareil photo FUJIFILM av100.

12.2 Megapixels
Fujinon 3x optical zoom lens
Auto focus (Center)
Photo 4000 x 3000 pixels



Figure 15 : L'appareil photo utilisée

➤ Ordinateur

Ordinateur portable ACER Aspire E1-771G
Processeur : Intel Core i3 (3ème génération) 3110M - 2.4 GHz
Ecran 17.3" - 1600 x 900 (HD+)
Processeur graphique : NVIDIA GeForce 710M - 1 Go
RAM: 4 Go
Système d'exploitation : Windows 8.1 Edition 64 bits

III.7. Intervenants

Les personnes qui ont permis la réalisation du SIG ont été les suivantes :

- ✚ Monsieur les directeurs et les responsables des institutions étatiques.
- ✚ Monsieur *Dr. BELMEKKI* le doyen de la faculté des sciences exactes et de l'informatique
- ✚ Monsieur *BOUKHARI Snousi* : consultant en management, ancien directeur EGMO.
- ✚ Monsieur *TAKARLI* et Monsieur *MAHMOUDI* : spécialité Photogrammétrie - MNT
Centre Technique Spatial d'Arzew – Oran –.
- ✚ Monsieur *RIGHI* : *bureau.* d'étude en ingénierie. d'expertise géomatique et hydraulique.

III.8. La réalisation du projet

Plusieurs étapes sont nécessaires pour la réalisation du SIG. Tout d'abord nous avons établi un questionnaire d'enquête car il serait nécessaire de concevoir l'enquête qui va servi à récupérer les informations dans l'optique de créer une base de données. Ensuite nous avons recensé les outils nécessaires, les logiciels permettant la transformation en 3D et l'exploitation du produit final.

La figure suivante indique les phases et les démarches de la réalisation.

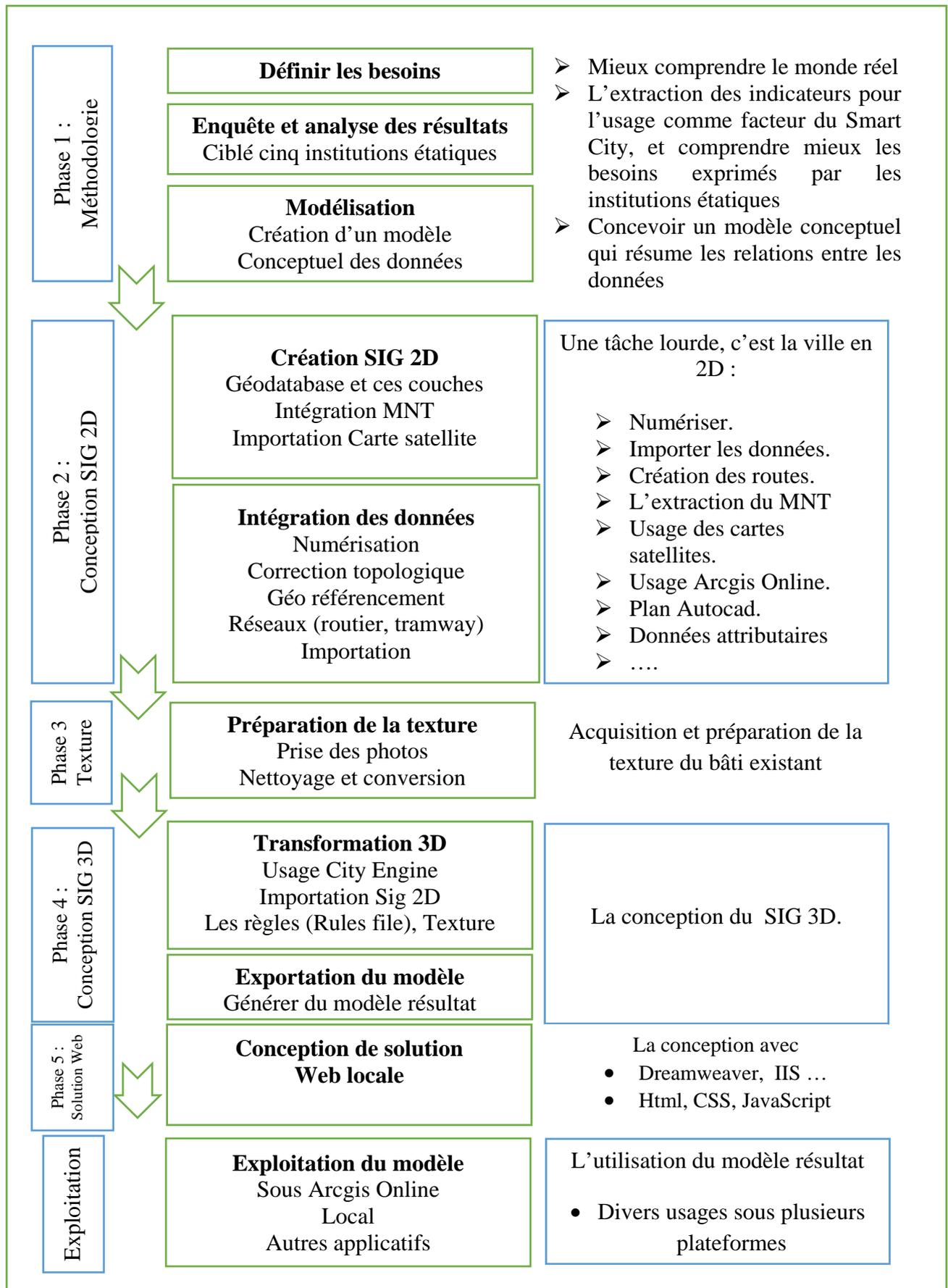


Figure 16: L'organigramme des phases de la réalisation.

III.8.1. Définition des besoins

La première étape a été de définir les besoins et les possibilités de production d'un prototype en fonction des besoins des villes intelligentes, de l'information récupérée dans l'enquête préalablement menée, de l'information disponible sur le terrain ainsi que du matériel et logiciel mis à disposition (images aériennes, appareil photo, des logiciels SIG).

Ainsi, la liste des besoins et possibilités cartographiques suivante a été établies :

- ❖ **Réaliser un plan** : L'absence de plan fiable de la Salamandre a exigé la numérisation d'un plan intégral répertoriant tous les éléments liés aux indicateurs choisis, les principales infrastructures, les textures, l'habillage...
- ❖ **Stocker les informations disponibles dans une base de données** : Le stockage de l'information issue de l'enquête de terrain, dans une base de données organisée selon la méthode Merise. Ce choix se justifie car il permet la récupération de l'intégralité des données à n'importe quel moment en vue de leur exploitation dans un logiciel SIG ou non.
- ❖ **Capitaliser le travail produit dans le mode numérique** : Notre responsabilité est de produire un prototype SIG 3D intégrant les indicateurs de Smart City

III.8.2. Les axes ciblés

Dans notre travail on a ciblé quelques axes :

- ❖ **Axe énergie** : une ville qui préserve son budget doit économiser ces charges telles que la facture publique d'énergie. Comme analyse spatiale, la création des zones éclairées par l'utilisation des tampons 3D. Cette analyse spatiale nous aide à planifier l'installation des poteaux d'éclairage public ou même de proposer sur l'habitat et les boutiques, particulier de participer dans la nuit pour aboutir à un éclairage ambiant.
 - Les élévations des bâtis donnent l'idée où mettre les plaques solaires mais cela ne suffit pas, un modèle 3D et l'emplacement géographique est indispensable sont indispensables pour cette analyse spatiale.
- ❖ **Axe de sécurité** : la sécurité est un élément primordial pour une ville, l'emplacement des caméras de surveillance urbaine nécessite un bon choix d'emplacement pour une bonne couverture. Ceci peut se faire par l'analyse spatiale 3D pour la détermination des champs de vision d'un point d'observation (caméra) qui engendre une couverture maximale avec un nombre minimal d'installation d'appareillage. Avec un modèle 3D on peut répondre facilement à la question : pour sécuriser un tel périmètre où placer les caméras ?
- ❖ **Axe mobilité** : pour chaque route on peut référencer notre géo-database pour faire des analyses spatiales qui permettent de faciliter la circulation des individus et des véhicules.
- ❖ **Axe tourisme** : Nous avons enrichi notre base de données par plus d'information sur les points d'intérêt (hôtels, restaurants, boutiques...) notre application va nous aider à

faire des recherches et répondre aux questions: ou loger ? ou manger ? pourquoi visiter?, ces les clés du tourisme intelligent.

- ❖ **Axe patrimoine** : archivage numérique des bâtis avec un géo référencement nécessite un SIG 3D, après un balayage laser 3D pour la restitution on peut faire des importations et organiser les données facilement.
- ❖ **Axe SAD (système aide à la décision)** : que ce soit pour la planification ou la réhabilitation, un model 3D est indispensable, il donne une vision réaliste avant et après les travaux réalisés ainsi que sur l’impact des futures aménagements urbains.
- ❖ **Axe analyse social de la ville** : par l’enrichissement de notre système d’information sur la ville, il donne un espace intéressant pour faire diverses analyses spatiales orientés socio-économiques, social, urbain

III.8.3. Enquête

Au niveau local ou global d’un pays, de nombreux acteurs sont impliqués pour améliorer la vie des citoyens, pour notre recherche sur la willaya de Mostaganem nous avons ciblé les institutions suivantes : l’APC de Mostaganem, Sonalgaz, l’Algérienne des Eaux, l’établissement public de willaya, la direction de l’urbanisme, la Direction de l’environnement. Dans le cas d’un projet réel, il est recommandé d’élargir la participation des autres acteurs.

Un questionnaire d’enquête a été adressé aux responsables des directions, qui ont sollicité l’intervention de l’université pour rependre à leurs besoins.

Comme suite le tableau du planning de déroulement pour le collecte d’information ainsi que les objective à comprendre pour la construction d’un schéma relationnel fiable réalisé en collaboration avec ces différents acteurs.

Date	Institution	Objective à comprendre
31/03/2016	L’APC de Mostaganem	Facture publique d’énergie
04/04/2016	SONALGAZ	Gestion des biens de la société / SIG
07/04/2016	Algérien des Eaux(ADE)	SIG et ADE
12/04/2016	Etablissement Publique de Willaya	La création de cet établissement
14/04/2016	Direction d’Urbanisme	Gestion zone libre
17/04/2016	Direction d’Environnement	La proposition des terrains pour l’investissement

Tableau 2 : Le planning de déroulement

III.8.4. Résultat et analyse

Afin d’évaluer le travail réaliser nous avons analysé les réponses du questionnaire en nous basant sur trois critères : l’existant, les futurs travaux et le manque (observé et déclaré).

Les tableaux suivants montrent en détailles les résultats d’enquêtes pour chaque établissement :

SONALGAZ	
Existant	<ul style="list-style-type: none"> • Le système Scada, ou station informatique de télésurveillance à distance, permet de recevoir des alarmes instantanées, sonores, visuelles et en transcription sur écran, à travers le réseau électrique de tout le territoire de la wilaya, ont expliqué les responsables et les ingénieurs de la SDC Sonelgaz. Ce système, qui fonctionne avec des supports aériens télécommandés placés sur des pylônes- relais, hauts de 45 mètres, implantés dans plusieurs sites de la wilaya pour la transmission par ondes comme ceux de la téléphonie mobile, permet non seulement de localiser avec précision toute panne, coupure de courant électrique, baisse de tension, agression (vol de câbles par exemple), mais d'établir aussi les lignes et en tout lieu du réseau. • La formation cartographie du personnel non spécialisé en SIG au CTS Arzew. • Existence de service cartographie
Future travaux	<ul style="list-style-type: none"> • Le micro-Scada • Compteurs intelligents (Smart), système télé-releveur de compteur moyenne tension. • Des factures de consommation de l'énergie automatisée par e-mail • Utilisation pour le gaz de naturel
Manque	<ul style="list-style-type: none"> • Informaticiens spécialisé en SIG. • Géo-référencement (des biens, infrastructure...) pour les interventions.

Tableau 3 : Résumé sur enquête chez la société Sonalgaz

Etablissement Algérien des eaux	
Existant	<ul style="list-style-type: none"> • Le marché n°38/2013 portant sur la réalisation du projet : « étude de diagnostic pour la réhabilitation des systèmes d'AEP des villes de « Relizane – Mostaganem » avec Groupement de bureaux d'études AQUATECH/SGI/INFRABEL • Mise en place à ce jour du logiciel SIG, qui n'est pas à jour. • La formation SIG du personnel non spécialisé en SIG à l'étranger – France –
Future travaux	<ul style="list-style-type: none"> • Compteurs avec relève à distance (Smart). Utilisation du scada. • Facturation avec paiement informatisé en collaboration avec Algérie poste.
Manque	<ul style="list-style-type: none"> • Informaticiens spécialisé en SIG.

Tableau 4 : Résumé de l'enquête chez l'ADE

Direction d'Urbanisme	
Existant	<ul style="list-style-type: none"> • Un SIG pour la gestion, traitement et aide à la décision pour les futures planifications.
Future travaux	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune information fournie
Manque	<ul style="list-style-type: none"> • Un SIG pour la wilaya de Mostaganem pour la gestion à distant

Tableau 5: Résumé de l'enquête chez la direction d'urbanisme

Etablissement Publique de Willaya	
Existant	<ul style="list-style-type: none"> • Éclairage publique : 04 véhicules pour les interventions sur réclamation ou un déplacement quotidien. • La collecte de déchet : 17 véhicules de collecte pour deux sortie par jours, 6h-10h et 18h-23h. • La gestion d'aménagement des espaces verts.
Future travaux	<ul style="list-style-type: none"> • A la recherche d'une solution pour réduire facture d'énergie publique - 3 milliards de centime en moyenne annule -
Manque	<ul style="list-style-type: none"> • Géo-référencement des biens pour les déplacements. • Des informaticiens. • un système de détection des pannes des points lumineux. • Optimisation des déplacements des véhicules de services.

Tableau 6: Résumé de l'enquête chez Etablissement Publique de Willaya

Direction de l'environnement	
Existant	<ul style="list-style-type: none"> • un SIG pour la gestion non à jours par les autres institutions
Future travaux	<ul style="list-style-type: none"> • revoir le SIG existant
Manque	<ul style="list-style-type: none"> • manque de la formation du personnel en SIG • manque des informaticiens spécialisés en SIG

Tableau 7: Résumé de l'enquête chez la direction de l'environnement

Pour l'APC, le service technique est transféré pour être un établissement public de wilaya autonome avec l'accord ministre des ressources des eaux.

III.8.5. L'avantage de la solution choisi :

Esri CityEngine est un logiciel qui permet de créer des environnements urbains 3D de haute qualité. CityEngine est une solution logicielle autonome et complète pour la transformation des données géographiques en modèle 3D qui permet une conception et une modélisation exceptionnelles pour créer avec efficacité des villes en 3D. Sa puissance réside dans :

III.8.5.1. L'usage des données géographiques

Avec CityEngine nous pouvons créer toutes couches d'information géographique ou tous les éléments d'une couche ont une position et une étendue géographique spécifique qui leur permettent d'être repérés sur la surface de la terre. La capacité de localiser avec précision des entités géographiques est essentielle pour le SIG.

III.8.5.2. Ergonomie de l'interface d'utilisation

CityEngine propose un ensemble complet d'outils procéduraux ultra-performants capables de compiler les données SIG, de modéliser et mettre à jour des réseaux de rues, de subdiviser des parcelles, de générer et modifier des bâtiments, de répartir des propriétés sur les voies, de contrôler la forme de la ligne d'horizon et d'analyser des projets d'aménagement urbain. Ces outils sont conçus pour créer des modèles 3D dynamiques.

III.8.5.3. Usage des règles (rules)

Avec CityEngine, nous pouvons concevoir des règles procédurales permettant la génération de modèles 3D d'un simple cube à des bâtis très complexes. Cela est possible à partir des entités 2D puis les exporter sous la forme de paquetages de règles (Rule Packages). Ces paquetages de règle permettent à des utilisateurs d'ArcGIS Desktop (avec l'extension 3D Analyst) de construire des modèles 3D directement à partir de leurs jeux de données SIG.

Modélisation d'une ville entière par des règles procédurales ou chaque couche est traité pour produire tous éléments de la ville (routes, bâti, toi, arbres, zone verts...). Cette modélisation procédurale de CityEngine est basée sur des règles CGA (Computer-Generated Architecture) offrant des possibilités illimitées pour contrôler la volumétrie générale, la géométrie des équipements, les proportions entre les parcelles, les zonages réglementaires, ou les textures des bâtiments ou des rues à l'échelle d'une ville. Les modèles basés sur des règles peuvent être paramétrés et modifiés interactivement grâce à l'Editeur de règles qui permet de créer et de modifier les modèles CGA.

III.8.5.4. l'importation et l'exportation des objets:

CityEngine assure la prise en charge totale de la géodatabase fichier d'Esri et du format des fichiers de formes, lequel permet aux utilisateurs d'importer/exporter toutes les données vectorielles géospatiales qu'ils souhaitent.

III.8.5.5. L'utilisation des données OpenStreetMaps (OSM) et shapfile :

CityEngine offre des nouvelles options d'import et d'ajustement des axes de voies. Ces fonctions d'import d'axes de voies depuis une Géodatabase Fichier ou depuis OpenStreetMap ont été améliorées. Désormais les entités de type courbes peuvent être automatiquement simplifiées ou réajustée en entités de type courbes.

La figure suivante indique le traitement des graphes sous CityEngine.

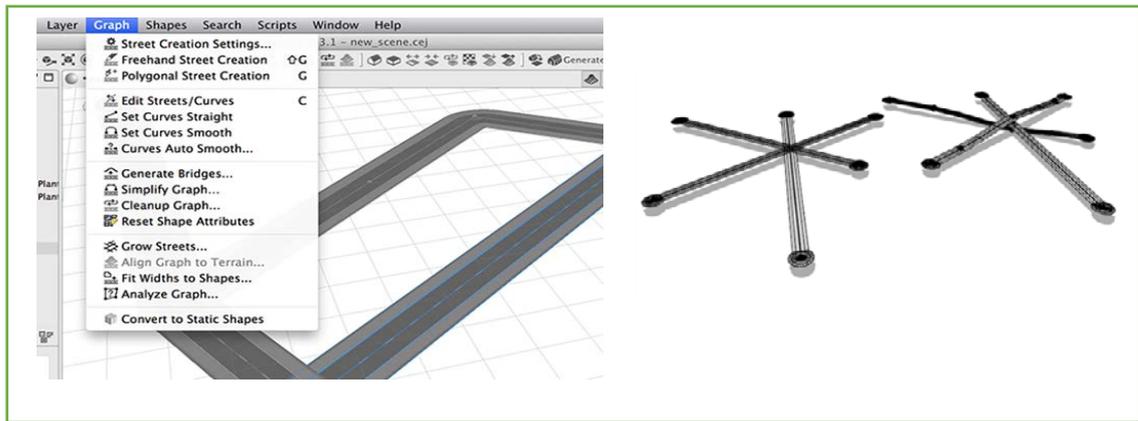


Figure 17 : La gestion des graphes sous CityEngine

III.8.5.6. Librairie "3D Plant" :

CityEngine propose une large librairie "végétation" offrant plus de 80 modèles représentant différentes espèces d'arbres, d'arbustes et de plantes. Ces modèles sont issus de la solution LumenRT de l'éditeur e-on Software.

La figure suivante indique les modèles de végétation sous CityEngine et LumenRT.



Figure 18 : Les modèles de végétation

Ces modèles de végétation peuvent s'afficher dans 3 modes :

- Réaliste (modèle 3D détaillé)
- Fan (modèles 3D en facettes)
- Analytique (modèles 3D sous forme de géométries simples).

Totalement compatibles avec la solution de conception de scènes photo-réalistes et animées de e-on software, les modèles de végétation des scènes CityEngine sont automatiquement reconnues et mise en animation lors du passage de CityEngine vers LumenRT.

III.8.5.7. SDK CityEngine

L'API de Cityengine pour développement, permet l'importation des modèles, des prototypes sous d'autres langage de programmation (tels que visual studio 2016) ou même d'autre logiciel de la conception 3D tels que Maya, LumenRt, Sketchup...

CityEngine fournit un SDK permettant aux développeurs d'intégrer le moteur de génération de modèle 3D. CityEngine au cœur d'autres applications de conception 3D ou d'autres outils SIG. Différents développements avec ce SDK sont en cours d'implémentation comme le plugin pour Autodesk Maya.

Les deux figures suivantes indiquent l'utilisation du SDK CityEngine sous Autodesk Maya.

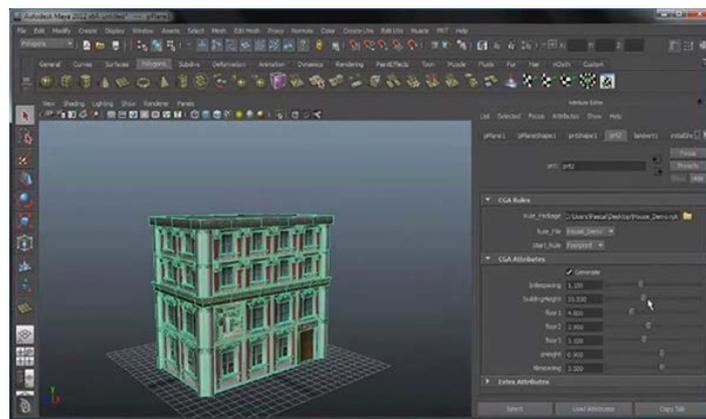


Figure 19 : L'usage SDK CityEngine sous Autodesk Maya (création bâti)

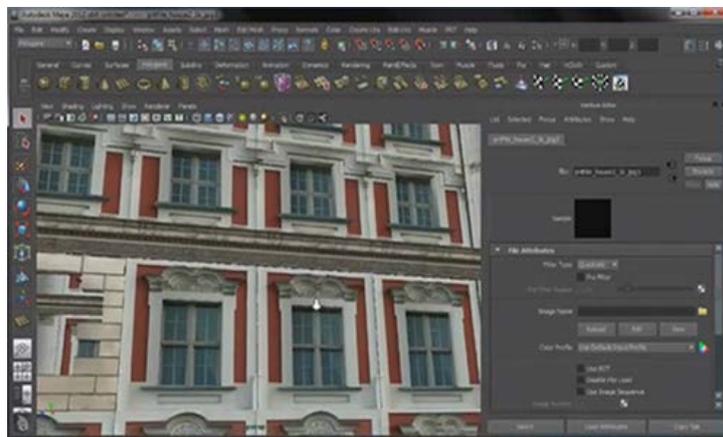


Figure 20 : L'application de règles CGA sous Autodesk Maya

III.8.5.8. Formats 3D standard

CityEngine prend en charge les formats KML et Respect les normes OGC :

- les formats COLLADA, Autodesk FBX, Wavefront, OBJ et 3DS, ce qui assure une grande interopérabilité dans les échanges de données 3D.
- FBX et COLLADA prennent en charge l'instanciation d'éléments, les ensembles UV multiples, le regroupement et le codage binaire.

Chapitre III

Réalisation

Partie Conception

III.9. Conception du SIG 2D.....	36
III.9.1. La construction de la base de données	36
III.9.2. Préparation des données	38
III.9.3. Réalisation du plan de la ville	38
III.9.4. Création de la Géodataase.	39
III.9.5. Intégration des données	39
III.9.5.1. La numérisation	39
III.9.5.2. Création de la topologie	40
III.9.5.3. Préparations du Modèle numérique de terrain	40
III.10. Acquisition des textures	40
III.11. Conception du SIG 3D.....	41
III.11.1. La construction du sol	41
III.11.2. Importation des couches	41
III.11.3. Règles procédurales (rules file).....	42
III.11.4. La construction manuelle du modèles 3D	43
III.11.5. La génération du réseau routier	44
III.12. Généralisation du modèle	44
III.12.1. Le modèle 3D sous le web	45
III.12.1.1. Création d'un compte ArcGIS Online	45
III.12.1.2. Gestion des contenus	45
III.12.2. Le modèle 3D sous le web local.....	48
a) La navigation	49
b) La sélection des couches	49
c) La recherche par sélection	50
d) Paramètres	50
e) Eclairage public	51
f) Champs de visibilité d'une caméra	51
g) Capture d'écran	51
h) Analyse	52
III.12.3. Autres d'utilisation	52
Conclusion et perspectives.....	53

Partie Conception

III.9. Conception du SIG 2D

Pour la réalisation du Système d'Information Géographique, Nous avons commencé par la création des couches Shapefiles qui ont permis de produire un plan de la région de Salamandre, et créer une base de donnée répertorient l'intégralité des informations relevées par l'enquête de terrain et on collaboration avec les institutions étatiques , de produire des cartes thématiques pour les besoins de la monographie, d'intégrer des données spatiales à la préparation et à la production un prototype 3D.

III.9.1. La construction de la base de données

La création de la base de données a été réalisée afin de pouvoir récupérer l'intégralité de l'information de l'enquête et de pouvoir l'utiliser pour produire un prototype 3D nécessaires pour les analyses souhaitées.

La première étape pour la création de la base de données a été de définir les besoins, et d'enregistrer toutes les informations concernant les routes, les points d'intérêts, les services administratifs, les transports existants...etc.

Ensuite nous avons exploité toutes les réponses du questionnaire d'enquête. De même, que les informations n'apparaissant pas dans l'enquête de terrain mais présentant un intérêt pour le diagnostic des Smarts Citys ont été ajoutée.

A cette étape est venu se greffer le besoin de regrouper les informations dans l'enquête par domaine et par thématiques.

Après avoir réalisé ces phases, la méthode Merise a été employée pour créer un modèle entité- relation. Ainsi, plusieurs tables principales ont été créées avec leurs tables de codes relatives. Des heures sont nécessaires à la réalisation de la base de données.

Pour exprimer les relations sous Microsoft Access, deux types de relation peuvent être créés entre des tables :

- Les relations un à un
- Les relations un à plusieurs.

La plupart des relations sont de type un à plusieurs (1-∞).

La figure suivante indique le schéma relationnel des données sous Access obtenu après la modélisation. Cette base de données ne représente pas la totalité de la ville intelligente.

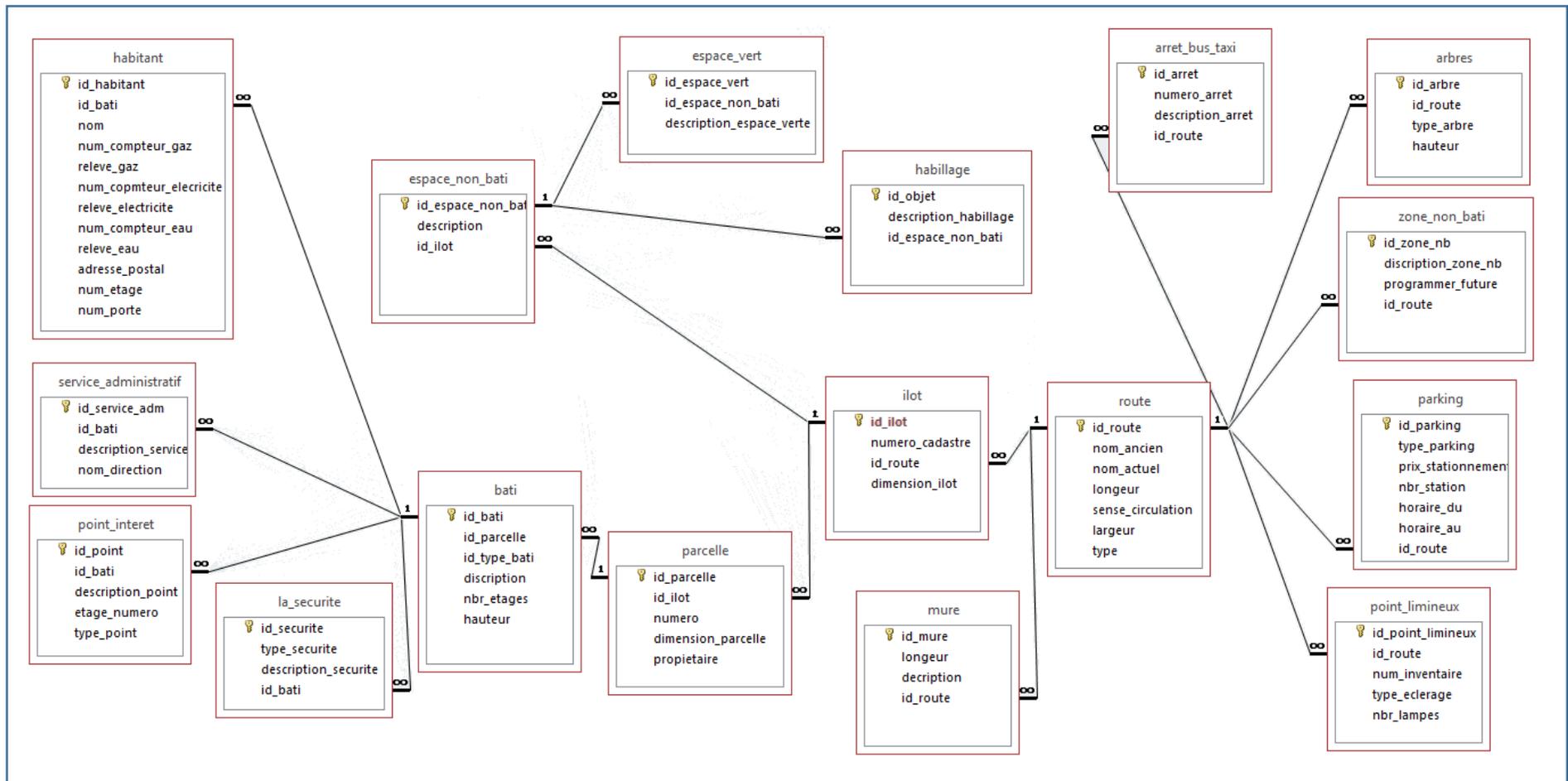


Figure 21 : Le schéma relationnel des données sous Access

III.9.2. Préparation des données

Dans un premier temps nous avons la possibilité d'avoir des plans sous AutoCAD de la région de Salamandre, La figure suivante indique le plan de la salamandre sous DraftSight.



Figure 22 : Le plan AutoCAD de la salamandre.

Le problème réside dans la construction du plan, non géo-localisé, l'utilisation de ce plan nécessite un travail très important pour nettoyer et géo-référencer.

Après deux semaines nous avons abandonnés cette démarche sous Arcgis pour des raisons de temps, par contre ce plans est devenu un repère sur le terrain qui contient plus de données attributaires (nom des rues, des institutions).

III.9.3.Réalisation du plan de la ville

Etant donné l'absence d'un plan de la ville de Mostaganem numérisé avec géolocalisation accessible au public et l'exigence des démarches administratives pour nous fournir les données, nous avons décidé de réaliser un plan de la région de Salamandre, cela a nécessité beaucoup de temps d'efforts.

C'est une tâche fastidieuse qui nécessite une carte à grand étendu pour plus de précision, on parle ici des cartes urbaines ou le moindre détail est très important.

Le bon choix de la carte dépend de la résolution, les conditions météorologiques, l'heure de prise de vue..., l'achat d'une carte est indispensable dans un projet réel. Ces choix sont bien évidemment dictés par la thématique envisagée tel que : l'heure de passage, le nadir, l'orientation des ombres...etc.

La numérisation est sollicitée sous ArcMap avec l'utilisation des services ArcGis pour accéder à l'image satellitaire et des images satellites fournies par Bing.com.

III.9.4. Création de la Géodatabase.

La création des classes avec les couches d'information (rester, vecteur, attributaire...), la figure suivante indique le contenu de notre géodatabase

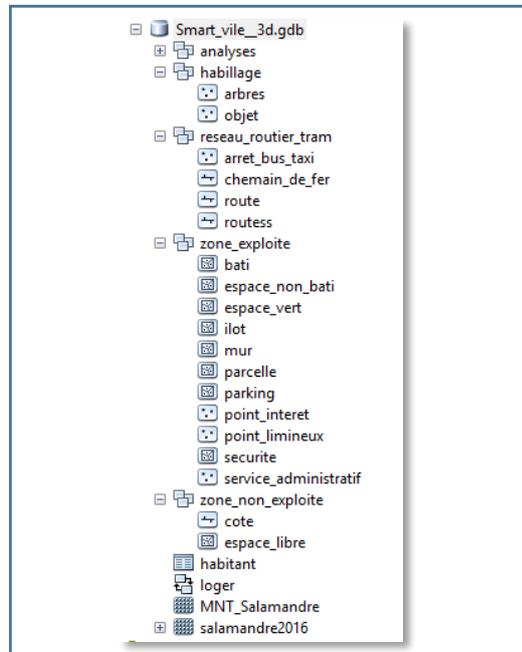


Figure 23 : La Géodatabase sous Arc Catalogue

III.9.5. Intégration des données

III.9.5.1. La numérisation :

La numérisation permet d'encoder des cartes sur un support papier en couches vectorielles possédant une référence spatiale. C'est un processus très long qui nécessite plus de temps et plus de précision. La figure suivante indique une image satellite de la salamandre

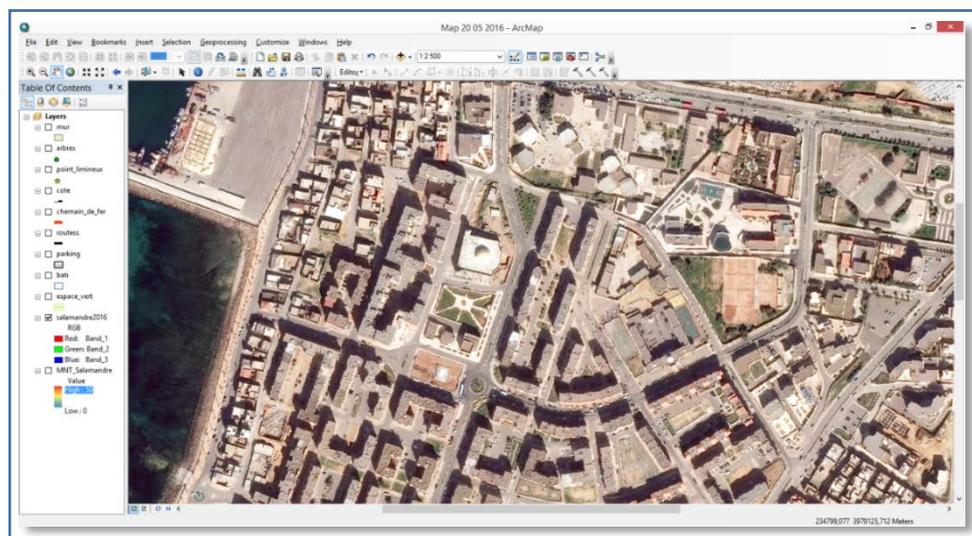


Figure 24 : L'image satellite utilisée sous ArcMap

III.9.5.2. Création de la topologie :

Cette étape essentielle interviendra une fois la numérisation terminée, et c'est à ce moment seulement que l'on choisira entre des polygones et des polylignes. C'est aussi lors de cette étape que l'on corrige les erreurs « involontaires » pour obtenir un produit de qualité.

III.9.5.3. Préparations du Modèle numérique de terrain

Un MNT (DEM) de 30 mètres est utilisé, puis découpé pour usage uniquement sur notre région d'étude. La technique est l'outil "clip raster" ("découpage raster") dans ArcToolbox. La figure suivante représente le MNT découpé. La figure suivante indique le MNT Utilisé.

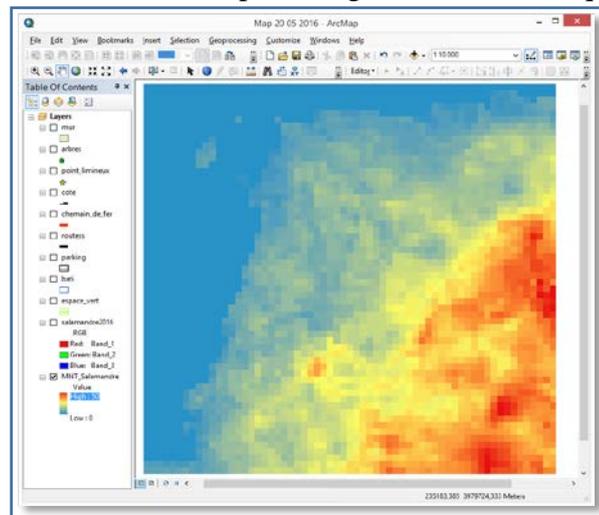


Figure 25 : Le MNT de la Région de Salamandre

III.10. Acquisition des textures :

Plus de 300 photos sont exploitées pour une meilleure texture des bâtis, l'utilisation des logiciels de retouches et de conversion telle que Adobe Photoshop pour l'élimination des arbres, des poteaux ... et les remplacés par des objets 3D. La figure suivante représente les problèmes liés à la texture, La figure suivante indique des exemples des problèmes liés à la texture.

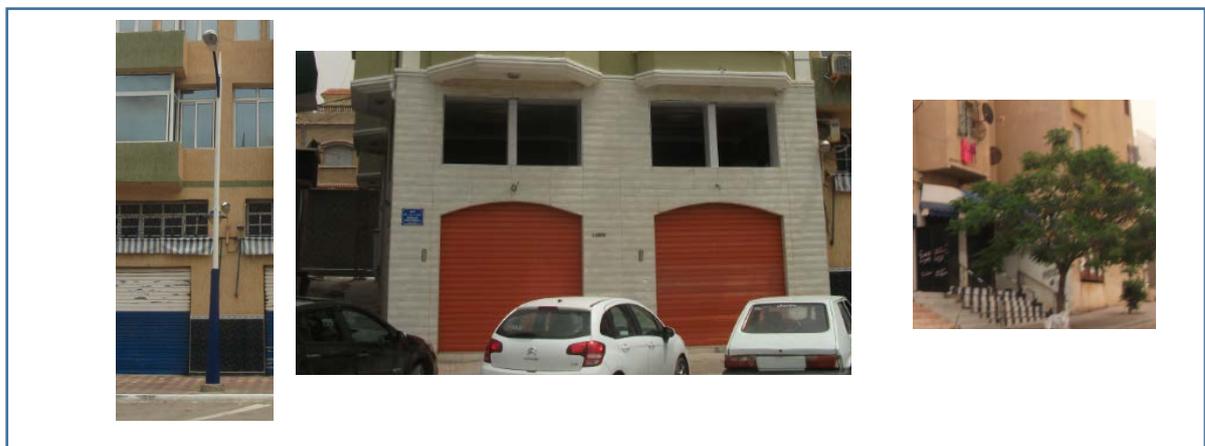


Figure 26 : Les problèmes liés à la texture

III.11. Conception du SIG 3D

III.11.1. La construction du sol :

Dans CityEngine, le point de départ est généralement de disposer du terrain. Pour cela, différents formats d'images peuvent être utilisés comme le PNG, TIFF ou JPEG. Ensuite, l'essentiel du travail dans CityEngine consiste à utiliser des données 2D du SIG (bâtiments, arbres, éléments de mobilier urbain, axes de voies, ...) et définir les règles procédurales qui permettront de les transformer en modèles 3D. La figure suivante représente la scène 3D du départ qui contient une photo satellite et un MNT.

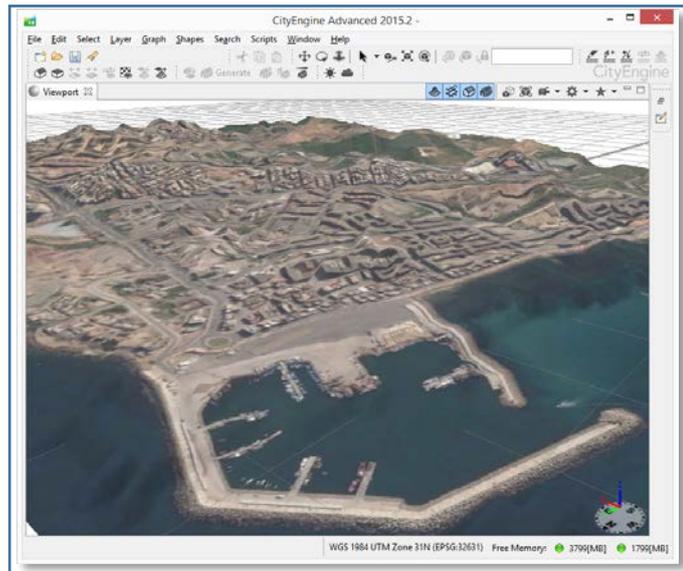


Figure 27 : La scène 3D du départ

III.11.2.Importation des couches

L'importation des couches de notre Géodatabase dans CityEngine est la deuxième étape dans le processus de création du modèle 3D, La figure suivante représente le réseau routier après l'importation sous CityEngine.

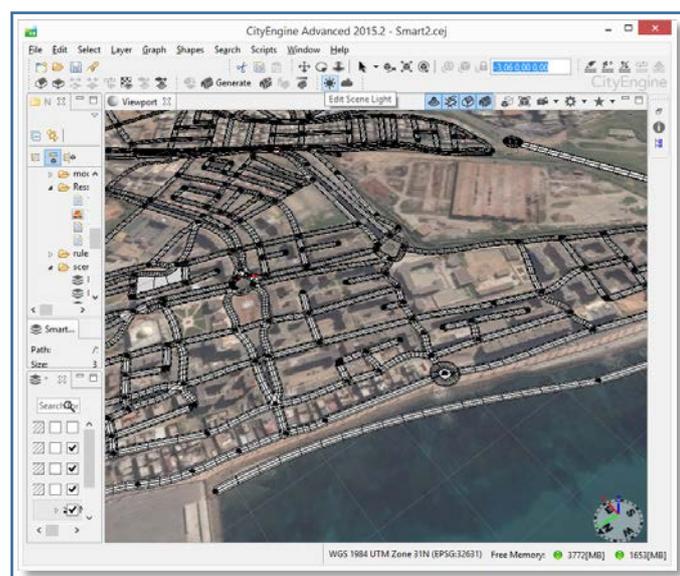


Figure 28 : Le réseau routier sous CityEngine

III.11.3. Règles procédurales (rules file)

City Engine est avant tout un moteur procédural permettant de transformer, des entités 2D (shapes) en modèles 3D (models). Une grammaire puissante permet d'écrire ces règles dont la logique peut être très simple (par l'exemple, l'extrusion d'un bâtiment ou la création d'un arbre à partir d'un attribut de hauteur) ou beaucoup plus sophistiquée (par exemple la construction automatique d'une passerelle dès lors qu'une voie piétonne traverse une voie de circulation majeure).

Une règle part d'une géométrie de base et lui applique une série de transformations pouvant s'imbriquer les unes dans les autres de manière infinie jusqu'à l'obtention du résultat souhaité. Les règles peuvent être créées via une interface graphique ou directement dans un éditeur de code. La figure suivante montre une règle simple permettant d'extruder les emprises de bâtiments 2D du SIG en simples volumes en fonction d'un attribut de hauteur (*Hauteur*). La figure suivante illustre l'application d'une règle CGA sur la couche bâtis.

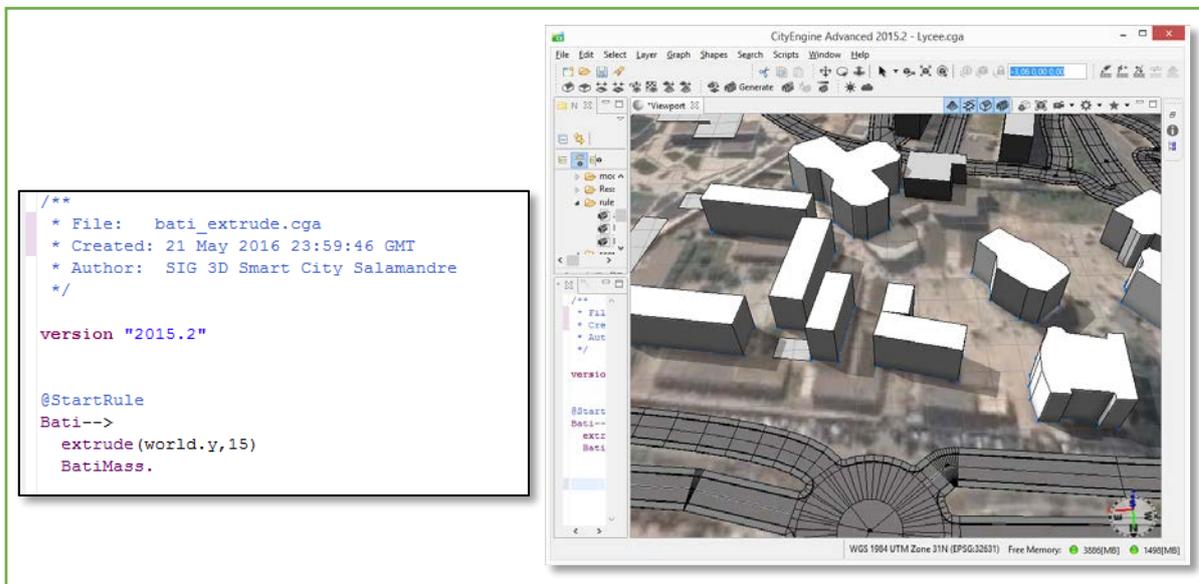


Figure 29 : La règle d'extrusion sur les bâtiments et résultat d'application

Lorsqu'on dispose d'informations plus riches comme l'âge de construction, le nombre d'étages, le type d'usage ou des données relatives aux types et matériaux des toitures, on peut enrichir nos règles et appliquer des textures sur les toits et façades de nos bâtiments.

City Engine nous permet de nous connecter à notre base de données (connecter aux champs des différentes tables) grâce à la propriété *Layer attribut*, cela permet de se connecter à la base de données pour récupérer des diverses informations attributaires dans la construction des objets

Selon le même principe, à partir des entités 2D du SIG, nous avons également ajouté la couche arbre qui nous a permis de générer les arbres dans une scène 3D, voir la figure suivante.

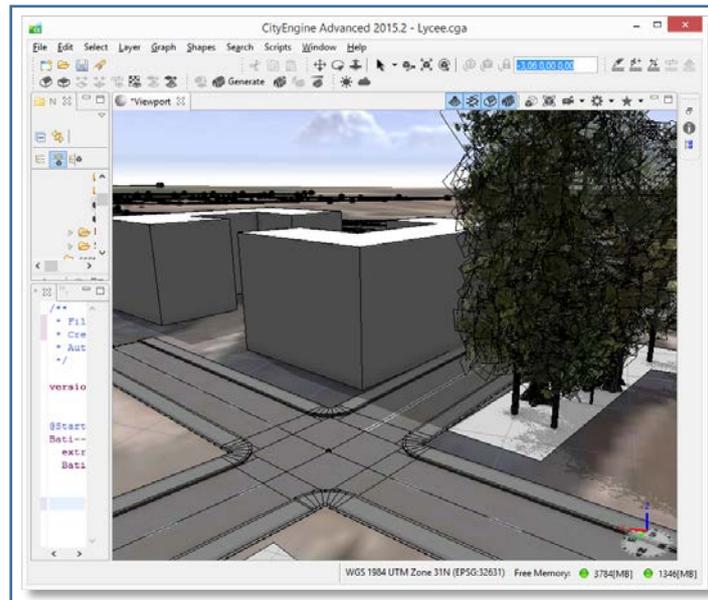


Figure 30 : Application des règles pour généralisation des arbres

III.11.4. La construction manuelle du modèles 3D

CityEngine propose une série d'outils de type "sketching" pour construire interactivement des modèles 3D. Nous pouvons construire des bâtiments techniques en bordure de voie ferrée qui manquaient dans la base de données SIG.

A l'aide de ces outils, il est possible de construire un volume aux formes plus ou moins complexes puis de lui appliquer une règle pour l'habiller de textures adaptées, La figure suivante représente le « sketching » sous City Engine pour la création des objets 3D.



Figure 31 : Le « sketching » sous CityEngine

III.11.5. La génération du réseau routier

City Engine modélise les éléments ponctuels et surfaciques d'un environnement urbain mais également le réseau routier. A partir de règles de grammaire spécifiques et d'entités linéaires (existantes ou saisies), on peut rapidement constituer des modèles 3D de l'infrastructure routière (chaussées, marquages au sol, signalisation, trottoirs, candélabres, véhicules sur les voies...). Des comportements avancés de topologie permettent de prendre en charge la notion de ponts, de passerelles, de ronds-points,... Dans la figure ci-dessous, nous allons montrer l'insertion des nouvelles voies de circulation.

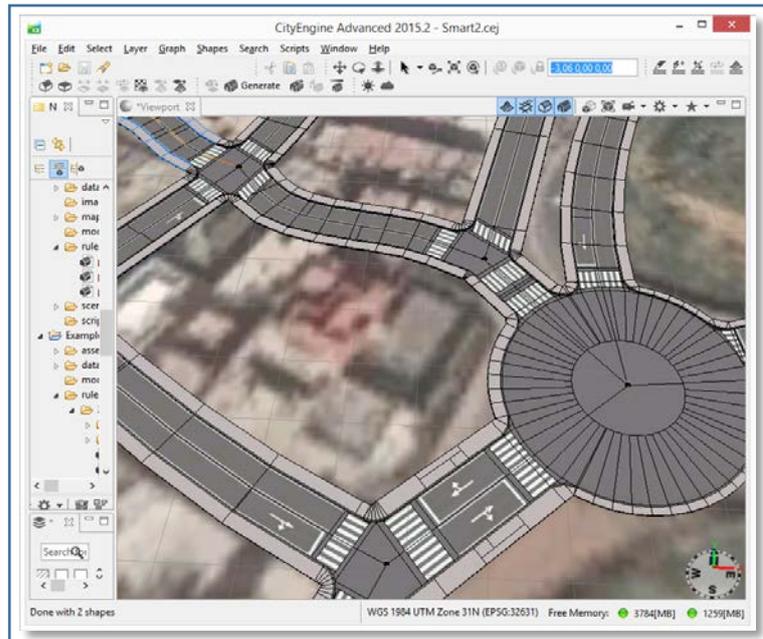


Figure 32 : Le réseau routier sous CityEngine

III.12. Généralisation du modèle

Exportation du résultat vers d'autres exploitations pour divers usages gouvernance, tourisme, planification...

Une fois le modèle est généré, nous pouvons l'exporter vers différents formats tel que:

- Une Géodatabases
- Une scène 3D sous forme un fichier scène web 3d (*.3ws)
- Autres formats.

La création d'un fichier 3ws a pour but de pouvoir la diffuser sur un serveur web local ou sur la plateforme ArcGIS Online.

III.12.1. Le modèle 3D sous le web

Le partage d'une scène web 3D sur la plateforme ArcGIS Online permet de partager le travail avec la communauté d'utilisateurs de notre choix sans avoir à quitter l'application City Engine. On utilise ce partage dans les autres applications ArcGIS afin de spécifier les éléments de description et les paramètres de partage de la scène web 3D de publication souhaitent.

Pour la publication un processus web du modèle 3D est un compte utilisateur Arcgis Online est exigé. Pour cela nous allons expliquer rapidement comment doit-on procéder.

ArcGIS Online est une plateforme cartographique complète basée sur le Cloud

III.12.1.1. Création d'un compte ArcGIS Online

Arcgis online propose deux types d'inscription, le premier type que nous avons utilisé pour faire des publications, avec la possibilité d'utiliser Arcgis desktop et Arcgis Pro.

Arcgis Pro est un nouveau produit d'ESRI qui remplace la solution Desktop (All in One) tel que : ArcCatalogue, ArcMap, ArcScene et ArcGlobe. Un compte actif Arcgis Online est exigé pour avoir l'autorisation d'utiliser cette version professionnelle. La figure suivante représente les modes d'inscription pour un compte Arcgis Online



Figure 33 : Les modes d'inscription pour un compte Arcgis Online

Après l'inscription on doit passer à la création de l'organisation et les groupes de travail, il est possible par la suite de faire la publication des travaux réalisés.

III.12.1.2. Gestion des contenus :

Une fois le processus de création achevé, une utilisation de 60 jours est offerte pour créer et partager les travaux de cartographie.

On peut Créer des cartes 2D et 3D grâce à la visionneuse de carte et la visionneuse de scène intégrées. Et de même d'accéder à des cartes et couches sur des centaines de thèmes dans l'atlas mondial dynamique, un ensemble en constante évolution issu de la communauté des utilisateurs Esri. La figure suivante représente la page web pour la publication des contenues

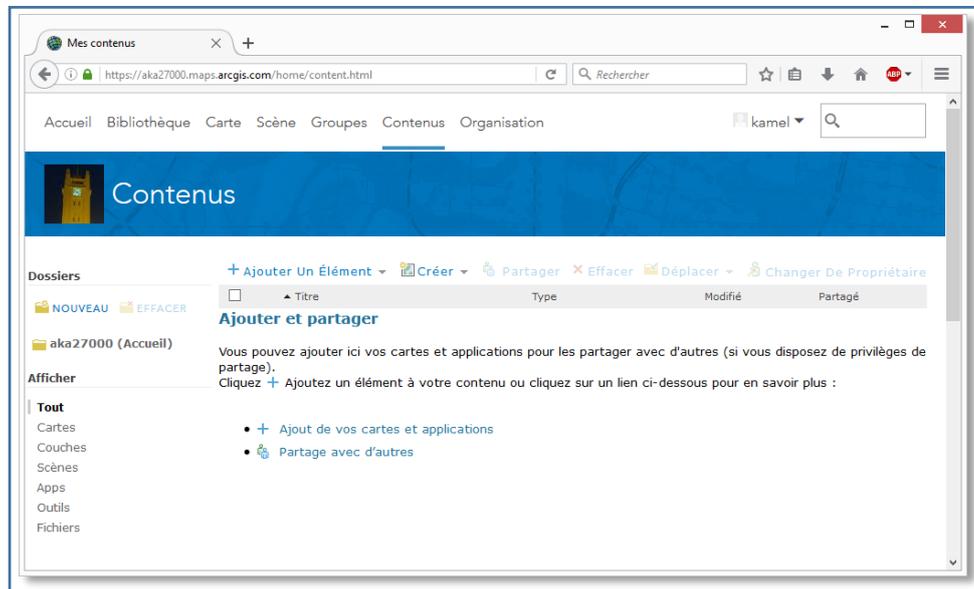


Figure 34 : Partage des éléments (la publication)

Dans notre cas nous avons publié un modèle exemple qui ne représente pas la région de Salamandre pour des raisons de confidentialité. La figure suivante représente la page web de la publication des scènes produit par CityEngine.

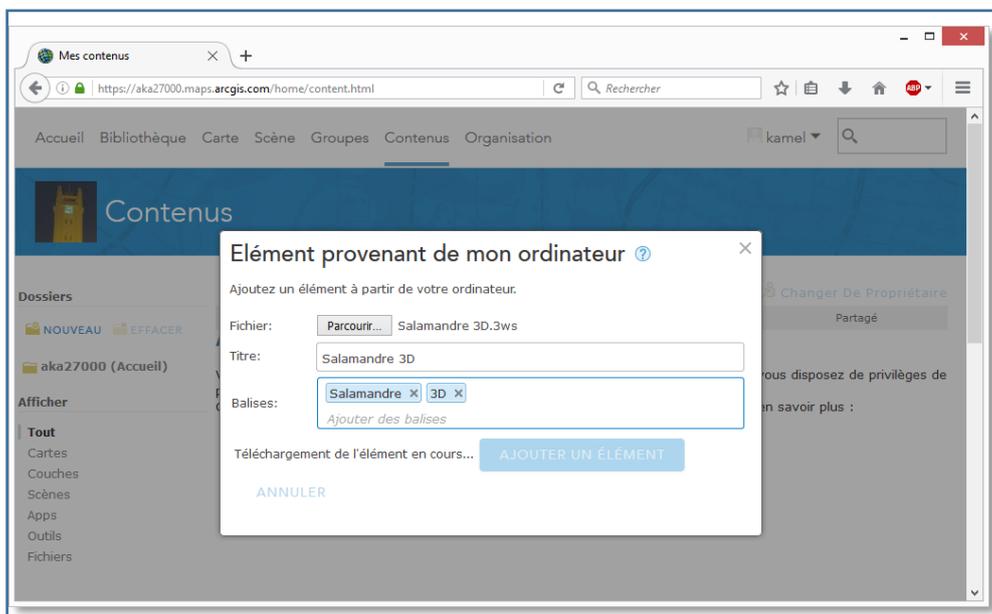


Figure 35: La publication de la scène

Une fois le chargement de la scène est terminée plusieurs fonctionnalités sont offertes. La figure suivante représente le modèle du Salamandre sous Arcgis Online.

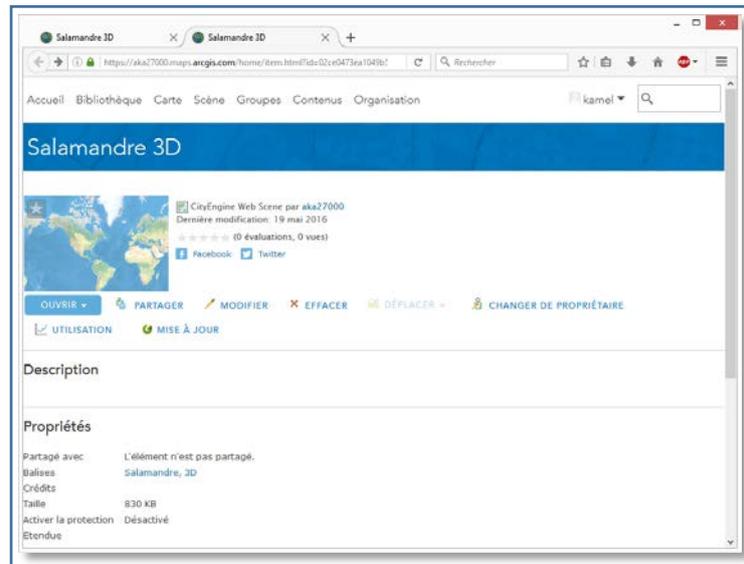


Figure 36: Le modèle du Salamandre sous Arcgis Online.

Gestion de la scène publiée : on peut faire plusieurs actions :

- La visualisation par : affichage de l'application.
- Récupération : par Télécharger
- Partage avec les autres utilisateurs ArcGIS Online.
- La modification des métadonnées
- La suppression
- Changement de propriétaire, Faire des mises à jour
- La visualisation des statistiques d'utilisation du contenu

Pour plus de fonctionnalité Arcgis Online propose des outils de personnalisation du partage des contenus avec les autres utilisateurs ArcGIS Online, voir la figure suivante.

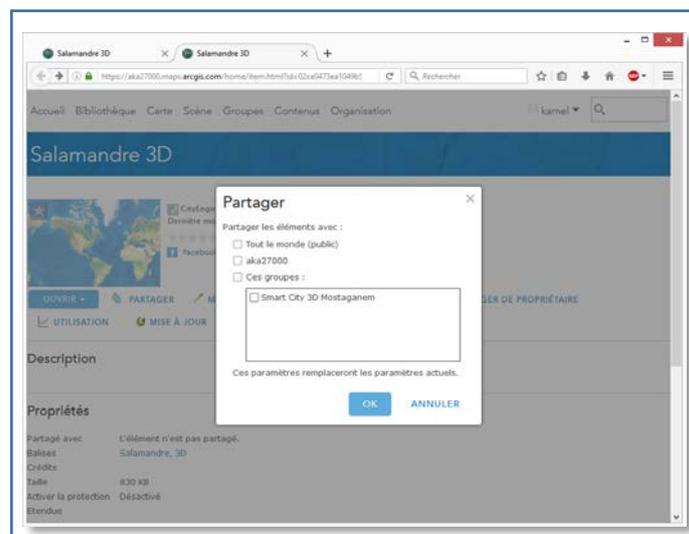


Figure 37 : Personnalisation du partage des contenus

Cette solution n'est pas préférable pour nous pour des raisons de confidentialité de publier des données réelles sur le Cloud de Arcgis Online.

III.12.2. Le modèle 3D sous le web local

Pour la visualisation 3D de notre projet, nous avons créé une solution web local est utilisée avec d'IIS et un développement sous Dreamweaver d'un site web local en utilisant du html, CSS, JavaScript et la visionneuse Web CityEngine par la technologie de WebGL

La figure suivante représente l'interface créée sous Dreamweaver de notre application.

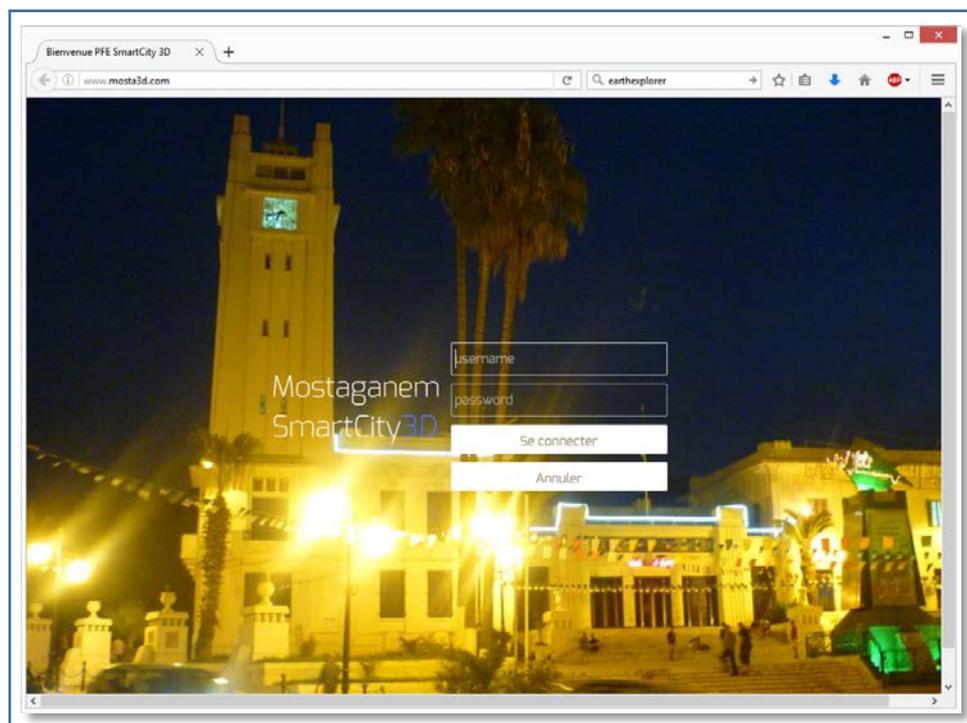


Figure 38 : L'interface principale de la solution développée

Une authentification est exigée pour l'accès au modèle produit, uniquement les utilisateurs dotés d'un nom d'utilisateur et d'un mot de passe peuvent accéder.

Ce prototype permet d'interagir en mode 3D pour:

a) La navigation

Parcourir la scène en effectuant des déplacements et zooms et en changeant de perspective ;

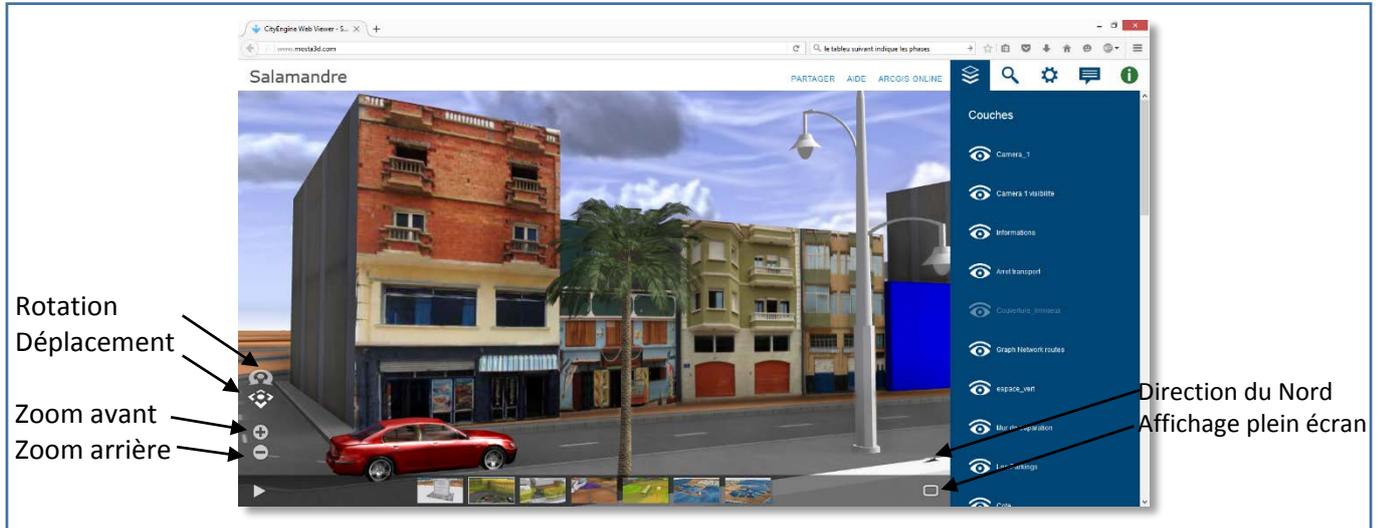


Figure 39 : La navigation dans le modèle 3D

b) La sélection des couches

Choisir les couches spécifiques à afficher ;

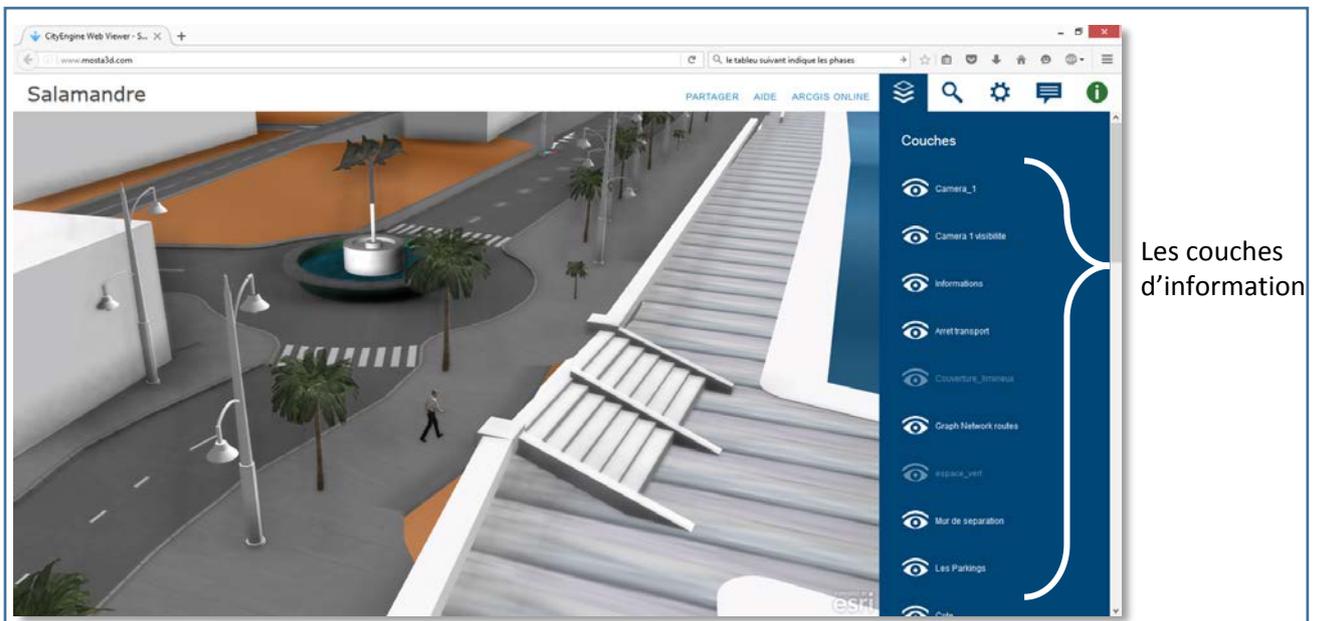


Figure 40 : Les couches d'information

c) **La recherche par sélection**

Rechercher des entités, des attributs et des métadonnées dans le contenu de la scène.



Figure 41 : La recherche, requête de sélection

d) **Paramètres** : changement d'heure ou la lumière du soleil pour visualiser les effets d'ombre. la figure suivante simule l'ombre à deux temps, à l'instant 10:44 et 14:26.

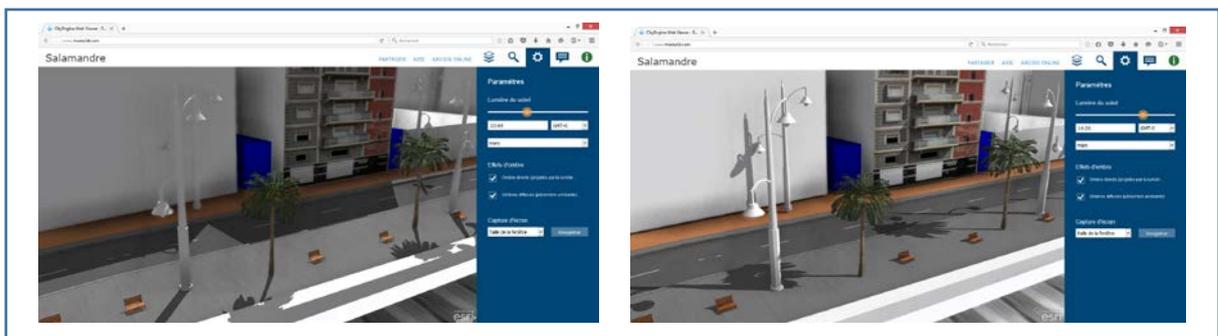


Figure 42 : Les effets d'ombres

e) **Eclairage public** : voir la couverture en mode 3D

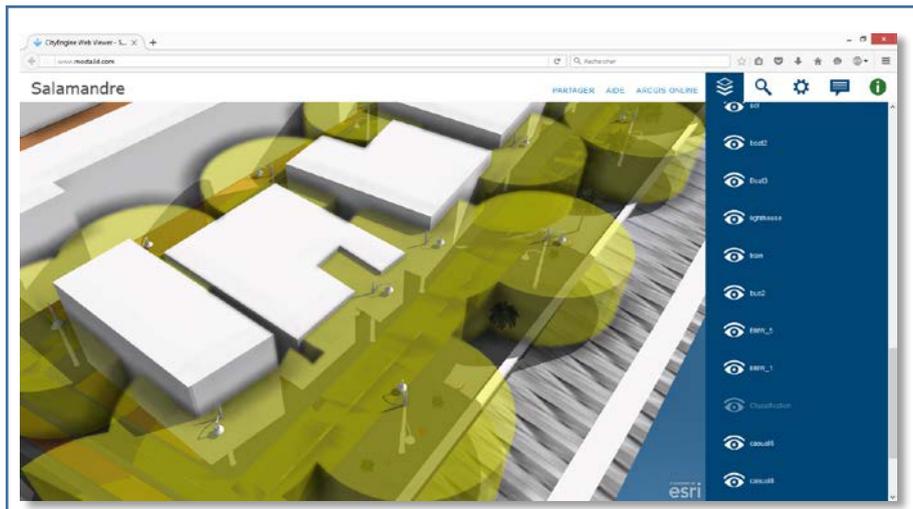


Figure 43 : L'éclairage avec prise en charge des obstacles

f) **Champs de visibilité d'une caméra** :

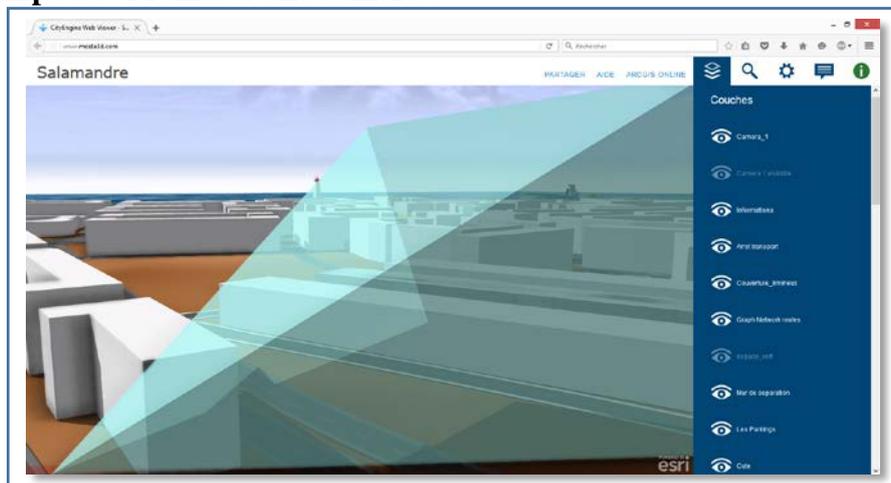


Figure 44 : Le champ de visibilité d'un point (caméra de surveillance)

g) **Capture d'écran** : pour produire des captures au format jpg.

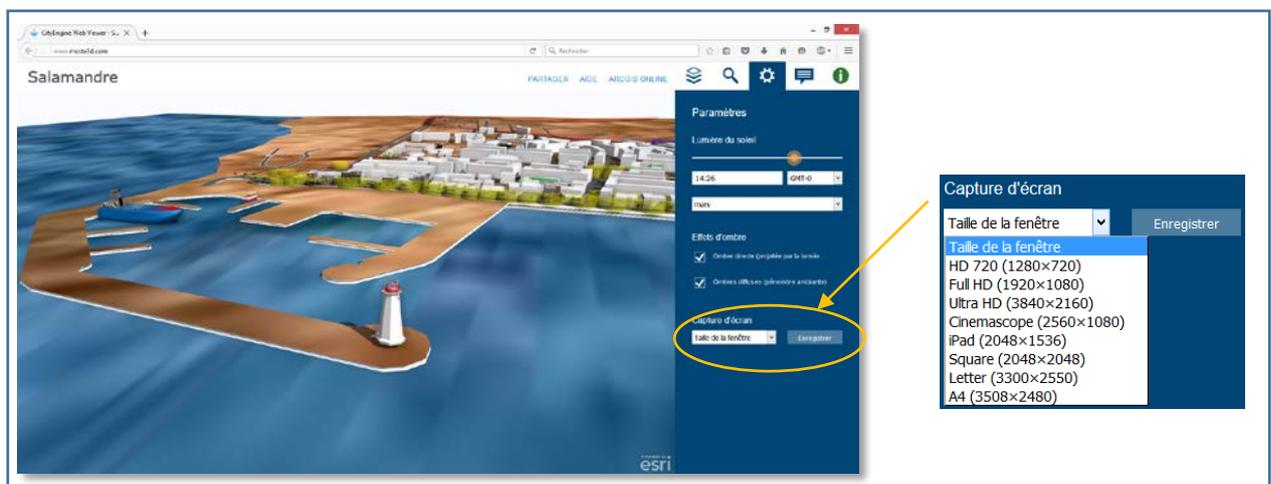


Figure 45 : La capture d'écran

h) Analyse : La sélection par thématique

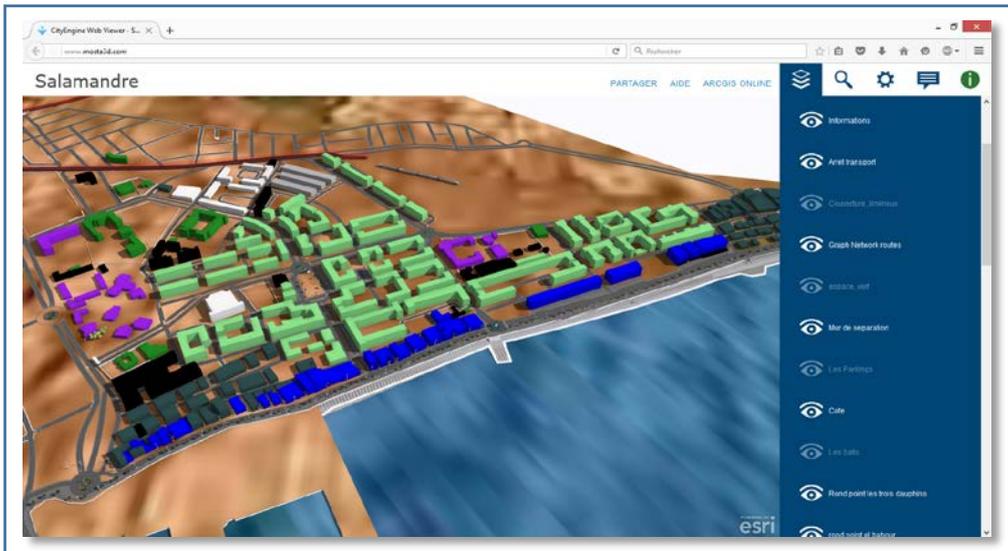


Figure 46 : La sélection par thématique

III.12.3. Autres d'utilisation :

Le modèle peut être exploité sous d'autres logiciels tels que e-on LununRt pour la création des scènes vidéo, ou même vers ArcGlobe ou ArcScene pour faire des autres analyses spatiales en 3D

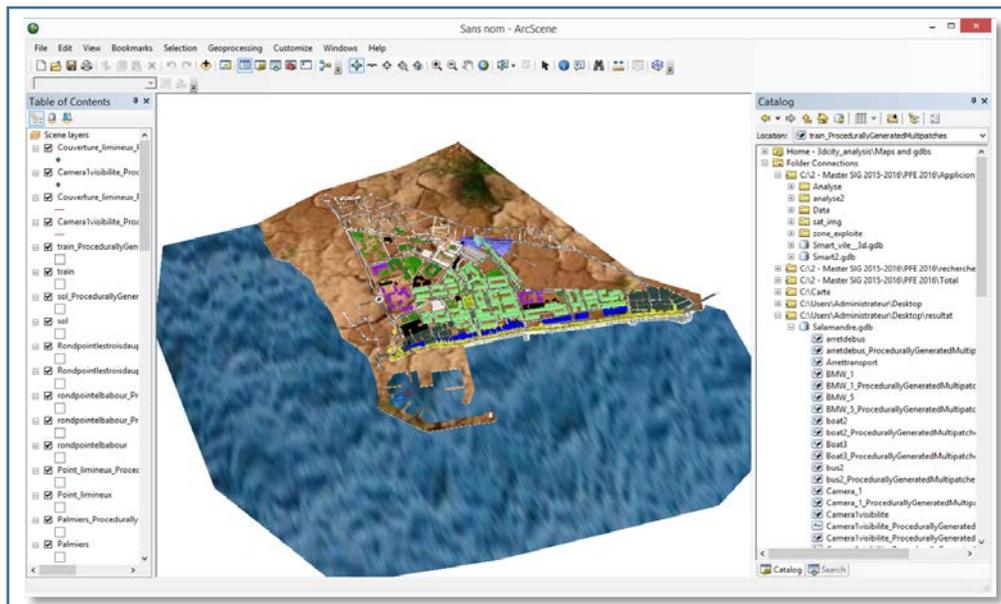


Figure 47 : La Géodatabase 3D produite sous ArcScene

Conclusion et perspectives :

Dans ce chapitre, nous avons vu le concept de la modélisation des SIG 3D orienté Smart City.

La création d'un prototype SIG 3D pour une smart city nécessite des démarches longues et fastidieuses, qui permettent de transformer l'information écrite en information interactive, du papier vers le monde numérique pour mieux analyser, préserver, concevoir et même gérer les ressources d'une ville et la rendre plus intelligents.

L'utilisation des SIG 3D orienté smart city a beaucoup d'avantages, ainsi que quelques inconvénients :

Parmi les avantages nous pouvons citer :

- La visualisation et l'analyse des constructions en fonction de leur altitude.
- La visualisation des MNT et MNE en 3D.
- Donner une vue plus réaliste pour mieux réagir.
- La modélisation en 3D du territoire se révèle très utile pour la réalisation de projets d'aménagement et d'urbanisme, grâce à la lisibilité qu'elle confère.
- Le pouvoir d'intégrer l'aspect temps pour traiter les phénomènes complexes.

Parmi les inconvénients nous pouvons citer :

- L'obligation de l'utilisation du logiciel et matériel informatique dédié à la 3D.
- Le traitement des données lourdes et complexes.

Les difficultés rencontrées hors de la construction peuvent se résumer comme suit :

- Vérifier la fiabilité des données
- Complexité des données
- Avant tout il faut avoir l'approche 2D avant de passer au 3D
- CityEngine recommande une station 3D (ordinateur puissant).

Les SIG 3D orienté Smart City est un domaine très vaste, il ne se limite pas seulement à la visualisation 3D. L'utilité du SIG 3D comme outil de gestion reste incontournable dans plusieurs domaines. En effet, beaucoup d'applications restent à réaliser pour mieux répondre aux nombreuses problématiques qui sont proposées au métier.

L'intégration des informations en temps réel permet de prendre les bonnes décisions aux meilleurs moments.

Dans ce projet réel il serait judicieux d'intégrer d'autres indicateurs tel que :

- Le déplacement de la population par heure ou par jour pour mieux comprendre les besoins en termes de mobilité pour le transport et le tourisme.
- Immatriculation de l'OPGI ou autre organisme : pour gérer ces clients.
- Associer des attributs spatiaux pour mieux gérer l'éclairage public et le ramassage de déchet.
- Comprendre l'espace vert existant pour mieux gérer, intervenir ou planifier les futurs travaux.
- L'architecture du bâti existant influe sur le taux de la criminalité, une vision 3D et un système d'information géographique aide les analyses sociales.
- Comprendre et induire des futurs impacts de la société et même de proposer des changements sur la morphologie de la ville.
- Répondre aux questions : où investir ? comment ?
- L'intégration du sous-sol tel que les installations de gaz, de téléphone ... dans un SIG 3D il est très important pour faire des analyses spatiales puissantes pour améliorer les interventions sur terrain.

Notre objectif a abouti à plusieurs résultats intéressants, dans un cadre pédagogique. Son intérêt principal est la préparation du terrain pour des futurs projets réels veillant à modéliser les villes intelligentes et mieux communiquer en trois dimensions.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons présenté l'utilité d'un SIG 3D pour la modélisation et la conception de la ville intelligente en utilisant Esri CityEngine.

Pour mener à bien notre mémoire nous avons suivi une démarche précise, nous avons d'abord commencé par une introduction sur notre thème où nous avons présenté un aperçu général sur les chapitres qui compose mémoire. Ensuite nous avons décrit les concepts de bases de l'information géographique, les SIG 3D et quelques exemples sur la réalisation des villes en 3D. Puis nous avons défini les smart city et ses concepts, avant d'explicitier l'apport d'un SIG 3D pour modélisation de ville intelligente. Nous avons ensuite fait une description de l'application que nous avons réalisée où nous avons expliqué la méthodologie que nous avons suivie et qui nous a permis de répondre aux besoins de rendre la ville plus intelligente en utilisant SIG orienté vers la 3D qui gère les indicateurs de la ville. L'importance de SIG réside dans leur capacité avancée en terme traitement et analyse des données spatiales.

Ce projet avait pour but de réaliser un SIG en 3D à fin de décrire avec un haut niveau de réalisme la zone de Salamandre, pour pouvoir naviguer, localiser des services, exécuter des requêtes et effectuer des simulations en fournissant des analyses spatiales en 2D et 3D dédiée pour la gestion et l'aide à la décision.

Néanmoins, des améliorations restent à faire pour une exploitation optimale de notre SIG 3D, l'exploitation des outils SIG dans les approches Smart City est très large. En effet, les outils de gestion et d'analyse de données géo-spatiales s'appliquent à un nombre de thématiques qui compose l'espace urbain et qui sont au cœur des enjeux d'optimisation pour une gestion plus intelligente de la ville de demain. Nous préconisons l'implémentation de plus d'applications et d'analyses, comme par exemple pour le domaine de la sécurité où nous pouvons réaliser des simulations de plusieurs scénarios et visualiser les conséquences. Nous suggérons aussi des simulations 3D sur des phénomènes urbains plus complexes.

D'autre part, des efforts restent à faire pour trouver des solutions au stockage et à la gestion des modèle 3D au sein d'un SGBD puissant tel que l'Oracle ou SQL Server.

Référence

Bibliographie

- Alias Abdul-Rahman and Morakot Pilouk. (2007).** Spatial DataModelling for 3D GIS. Livre ISBN 978-3-540-74166-4 Springer Berlin Heidelberg New York, USA.
- Duchemin, S. (2015).** Smart city, rendre la ville intelligente? POINT DE VUE, Sopra Steria Consulting www.soprasteria.com/consulting .
- Etienne Desgagné. (2010).** Conception et développement d'un SIG 3D dans une approche de service web. Mémoire Maître en sciences géomatiques. Université Laval Québec, Canada.
- Francesco, F. (2005).** 3d Modeling of complex architecture integrating different techniques – A critical overview. Laboratory of Survey, Photogrammetry, Cartography, GIS, Milano, Italy.
- Gerhard Gröger, Thomas H. Kolbe, Claus Nagel (2012).** Open Geospatial Consortium OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Open Geospatial Consortium. OGC.
- Giffinger, R. (2007).** Smart cities Ranking of European medium-sized cities. Final Report, Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology, www.smart-cities.eu, European Union.
- Jacques Véron. (2007).** Éditorial – La moitié de la population mondiale vit en ville. Bulletin mensuel d'information de l'Institut national d'études démographique France. Population & Sociétés N° 435, www.ined.fr , France.
- Jolas, C., Ouaknine, D., Fortdissy, L. E., Contexte, C. O. M., Demarches, E. T., & Acteurs, D. E. S. (2012).** Rapport Projet Eco-quartiers, Projet fordissy.com , France.
- Mignard, C. (2012).** SIGA3D : 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. Thèse de doctorat Université de Bourgogne, France.
- Poupeau, B. (2008).** Analyses et Requêtes de données géographiques 3D – Contribution de la cristallographie Géométrique. Thèse de doctorat l'université PARIS-EST, France.
- Ramos, F. (2003).** Modélisation et validation d'un système d'information géographique 3D opérationnel. Thèse de doctorat, Université de Marne-La-Vallée, France.
- Simard, J. (2015).** La ville intelligente comme vecteur pour le développement durable : le cas de la ville de MONTREAL. Maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke Québec, Canada.
- TechnoMontréal. (2011).** Mémoire de TechnoMontréal Intégration d'une vision numérique comme fondement aux orientations du PMAD pour hisser le Grand Montréal au rang des métropoles intelligentes. La communauté métropolitaine de Montréal, Canada.

Support Cours

SIG Master 1 université Mostaganem (2014-2015)

- Module Web Mapping Mr Midoun M.
- Module SIG fondements Mr Bensaloua C.
- Module Photogrammétrie Mr Takarli.

Webographie

ESRI Web : http://www.esrifrance.fr/sig_bur_cityengine.aspx -02 Fev.2016-

IFC Web : http://www.ifcwiki.org/index.php/Main_Page -16 Jan. 2016-

ISO Web :

http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=66175
-25 Jan.2016-

GoCad Web : <http://www.ring-team.org/> -01 Fev.2016-

Kwnl web :

<https://knowledge.safe.com/articles/1023/bim-to-gis-basic-ifc-lod-100-to-lod-2-citygml.html>
-10 Fev 2016-

Masder Web : <http://www.masdar.ae/en/masdar-city/live-work-play> -15 Jan 2016-

OpenOGC Web : <http://www.opengeospatial.org/docs/is> -05 Fev 2016-

UN Stat Web:

<http://mirror.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3387&AspxAutoDetectCookieSupport=1> -25 Jan.2016-

Annexe

Annexe

Dictionnaire des données

Table	Type	Description
arbres (pour habillage des rues)		
id_arbre	Entier	Clé primaire
id_route	Entier	Index (clé étrangère)
type_arbre	chaîne de caractère(10)	Pour choix de type d'arbre dans model 3D
hauteur	Entier	Amélioration du model 3D
arret_bus_taxi		
id_arret	Entier	Clé primaire
numero_arret	chaîne de caractère(10)	Pour
description_arret	chaîne de caractère(10)	Plus d'information (taxi, bus, tramway)
id_route	Entier	Index (clé étrangère)
bati		
id_bati	Entier	Clé primaire
id_parcelle	Entier	Index (clé étrangère)
id_type_bati	Entier	Index (clé étrangère)
description	chaîne de caractère(50)	Plus d'information sur le bâti
nbr_etages	Entier	Nombre d'étage
hauteur	Entier	L'élévation du bâti dans le model 3D
espace_non_bati		
id_espace_non_bati	Entier	Clé primaire
description	chaîne de caractère(15)	Plus d'information sur l'espace
id_ilot	Entier	Index (clé étrangère)
espace_vert		
id_espace_vert	Entier	Clé primaire
id_espace_non_bati	Entier	Index (clé étrangère)
description_espace_vert	chaîne de caractère(50)	Plus d'information sur l'espace
habillage		
id_objet	Entier	Clé primaire
description_habillage	Entier	Classification d'objet pour l'habillage
id_espace_non_bati	Entier	Index (clé étrangère)

habitant		
id_habitant	Entier	Clé primaire
id_bati	Entier	Index (clé étrangère)
Nom	chaîne de caractère(50)	Description du propriétaire
num_compteur_gaz	Entier	Index (clé étrangère)
releve_gaz	Entier	Dernier relevé du compteur de gaz
num_copmteur_elecricite	Entier	Index (clé étrangère)
releve_electricite	Entier	Dernier relevé du compteur d'électricité
num_compteur_eau	Entier	Index (clé étrangère)
releve_eau	Entier	Dernier relevé du compteur d'eau
adresse_postal	chaîne de caractère(50)	Adresse de l'individu
num_etage	Entier	Index (clé étrangère)
num_porte	Entier	Index (clé étrangère)
ilot		
id_ilot	Entier	Clé primaire
numero_cadastre	chaîne de caractère(7)	Index (clé étrangère)
id_route	Entier	Index (clé étrangère)
dimension_ilot	valeur réel (double)	Superficie d'ilots
la_securite		
id_securite	Entier	Clé primaire
type_securite	chaîne de caractère(10)	La protection civile, la sûreté...
description_securite	chaîne de caractère(15)	Description sur les points de control, protection civile...
id_bati	Entier	Index (clé étrangère)
mur (séparateur mural)		
id_mure	Entier	Clé primaire
Longeur	Entier	
Description	chaîne de caractère(50)	Pour plus de spécification architecturale
id_route	Entier	Index (clé étrangère)
parcelle		
id_parcelle	Entier	Clé primaire
id_ilot	Entier	Index (clé étrangère)
numero	chaîne de caractère(10)	Index (clé étrangère)
dimension_parcelle	valeur réel (double)	Superficie de la parcelle
propietaire	chaîne de caractère(20)	Le propriétaire du parcelle

parking : Espace réservé au stationnement		
id_parking	Entier	Clé primaire
type_parking	chaîne de caractère(10)	Les types possibles (Communal, de quartier ...)
prix_stationnement	valeur réel (double)	Pour les stationnements payants
nbr_station	Entier	Capacité de stationnement (nbr voiture)
horaire_du	chaîne de caractère(5)	Les horaires de stationnement au parking
horaire_au	chaîne de caractère(5)	Les horaires de stationnement au parking
id_route	Entier	Index (clé étrangère)
point_interet (regroupent tous les boutiques, super marchés, les marchés, hôtel, restaurant...)		
id_point	Entier	Clé primaire
id_bati	Entier	Index (clé étrangère)
description_point	chaîne de caractère(20)	Plus d'information
etage_numero	Entier	Exactitude de recherche
type_point	Entier	Classification pour faciliter la recherche
point_lumineux (Poteau d'éclairage public)		
id_point_lumineux	Entier	Clé primaire
id_route	Entier	Index (clé étrangère)
num_inventaire	chaîne de caractère(10)	Index (clé étrangère)
type_eclairage	chaîne de caractère(10)	Le type de la technologie utilisée
Portee	valeur réel (double)	La couverture lumineuse (rayonnement)
nbr_lampes	Entier	pour faire la calcul de la portée
Hauteur	valeur réel (double)	Utiliser pour faire la calcul de la portée
route		
id_route	Entier	Clé primaire
nom_ancien	chaîne de caractère(50)	Ancienne dénomination de la route
nom_actuel	chaîne de caractère(50)	La nouvelle dénomination
longeur	Entier	Utiliser pour parcours
sense_circulation	chaîne de caractère(2)	Pour la construction des réseaux routiers
largeur	Entier	Aide de faire tracer la route dans model 3D
type	chaîne de caractère(10)	Classification de la route
service_administratif		
id_service_adm	Entier	Clé primaire
id_bati	Entier	Index (clé étrangère)
description_service	chaîne de caractère(20)	Plus d'information sur le service.
nom_direction	chaîne de caractère(20)	Dénomination de la direction

zone_non_bati		
id_zone_nb	Entier	Clé primaire
description_zone_nb	chaîne de caractère(50)	Description pour la zone
programmer_future	chaîne de caractère(50)	la future utilisation (urbaine, industriel...)
id_route	Entier	Index (clé étrangère)

Classification en classe

Table	Classification
habitant	attributaire
mur	Ligne 
route	
arret_bus_taxi	Point 
habillage	
point_interet	
point_lumineux	
arbres	
bati	Polygone 
espace_non_bati	
espace_vert	
ilot	
la_securite	
parcelle	
parking	
service_administratif	
zone_non_bati	