



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة المدنية والمعمارية
Civil engineering & architecture department



N° d'ordre : M/GCP/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER PROFESSIONNALISANT

Filière : Génie civil .

Spécialité : Efficacité Energétique des Bâtiments.

Thème

Utilisation des SIG 3D pour la gestion et la planification de l'énergie
dans les villes intelligentes

Présenté par :

Mr Abdelouahab Mohammed Abdeldjalil

Soutenu le 28 /06 / 2020 devant le jury composé de :

Président : Mebrouki Abdelkader

Examineur: Zaoui Mohammed

Encadrant : Midoun Mohammed

Année Universitaire : 2019 / 2020

Résumé

Une Smart City offre à ses habitants une qualité de vie élevée avec une consommation de ressources minimale grâce à une combinaison intelligente des infrastructures (transport, énergie, communication, etc.) sécurité en vue d'une gestion efficace des infrastructures essentielles pour assurer des services d'utilisation finale pour tous les citoyens, à différents niveaux hiérarchiques (bâtiment, quartier, ville). La modélisation et la simulation sont les principaux outils couramment utilisés pour évaluer les impacts technologiques et politiques des solutions intelligentes, ainsi que pour planifier les meilleurs moyens de passer des villes actuelles aux villes intelligentes.

La gestion de l'énergie est l'un des problèmes les plus difficiles à résoudre dans ces centres urbains en raison de la complexité des systèmes énergétiques et de leur rôle vital

Le concept de système d'information géographique (SIG) est apparu dans les années 1960-1970. Les SIG 3D permettent de modéliser les cités intelligentes et fournissent des outils intéressants pour leur gestion.

Le premier objectif de ce mémoire est de passer en revue les travaux sur les modèles de planification et d'exploitation liés à l'énergie dans la ville intelligente. Le deuxième objectif est l'utilisation des SIG 3D pour modéliser et simuler la gestion de l'énergie dans les villes intelligentes.

Mots clés : Gestion de l'énergie énergétique, SIG 3D, ArcGIS, Smart city

ABSTRACT

A Smart City offers its inhabitants a high quality of life with a minimum consumption of resources thanks to an intelligent combination of infrastructures (transport, energy, communication, etc.) security with a view to efficient management of essential infrastructures to provide services of end use for all citizens, at different hierarchical levels (building, district, city). Modeling and simulation are the main tools commonly used to assess the technological and political impacts of smart solutions, as well as to plan the best ways to move from current cities to smart cities.

Energy management is one of the most difficult problems to solve in these urban centers due to the complexity of their vital systems

The concept of geographic information system (GIS) appeared in the years 1960-1970. 3D GIS makes it possible to model smart cities and provide interesting tools for their management. The first objective is to review the work on planning and operating models related to energy in the smart city. The second objective is the use of 3D GIS to model and simulate energy management in smart cities.

Keywords: Energy management, 3D GIS, ArcGIS, Smart city

Table des matières

N° d'ordre : M/GCP/2020.....	1
MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE.....	1
Filière : Génie civil .	1
Spécialité : Efficacité Energétique des Bâtiments.	1
Présenté par :.....	1
Soutenu le 28 /06 / 2020 devant le jury composé de :.....	1
Année Universitaire : 2019 / 2020	1
Chapitre I. Les Systèmes d'Information Géographique.....	11
I.1. INTRODUCTION :	11
I.2. L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (IG)	11
I.3. DEFINITIONS DES SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG) :	12
I.4. LES FONCTIONNALITES D'UN SIG.....	13
I.5. LES COMPOSANTS D'UN SIG :	13
I.6. STRUCTURE D'UN SIG :	15
I.7. DOMAINES D'APPLICATION DES SIG	16
I.8. LES LOGICIELS SIG :	16
A. LES LOGICIELS LIBRES :	17
B. LOGICIELS GRATUITS :	17
C. LOGICIELS COMMERCIAUX :	17
I.9. LES DONNEES DANS LES SIG :	17
I.9.1. TYPES DE DONNEES DANS LES SIG :	17
D. LES DONNEES SPATIALES :	18
E. LES DONNEES ATTRIBUTAIRES :	20
I.10. DEFINITION D'UNE COUCHE THEMATIQUE :	21
I.11. NOTION DE BASE DE DONNEES GEOGRAPHIQUE :	22
I.12. LES SIG 3D.....	22
A. LES DIFFÉRENTES FORMES DE L'INFORMATION 3D DANS LE SIG :	23
B. LA REPRESENTATION DES OBJETS EN 3D	26
C. ACQUISITION DES DONNEES 3D.....	26
I.13. CONCLUSION :	26
Chapitre II. Smart Cities (Villes intelligentes).....	28
II.1. INTRODUCTION :	28
II.2. DEFINITION DE LA VILLE INTELLIGENTE (SMART CITY) :	29
II.3. LES COMPOSANTES DE LA VILLE INTELLIGENTE :	31
II.4. FORCES DE LA VILLE INTELLIGENTE :	34
II.5. LIMITES DE LA VILLE INTELLIGENTE :	35
II.6. LE ROLE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS ET LES SECTEURS IMPLIQUES :	36
II.7. LES FACTEURS CLES DE LA VILLE INTELLIGENTE :	38
II.8. EXEMPLES DE VILLES INTELLIGENTES :	39

A.	SINGAPOUR :	39
B.	BARCELONE :	40
C.	MASDAR (ÉMIRATS ARABES UNIS) :	41
D.	EN ALGERIE, LE PROJET DE LA VILLE INTELLIGENTE SIDI ABDELAH (ALGER) :	42
II.9.	CONCLUSION :	43
Chapitre III. Gestion de l'énergie dans les milieux urbains		44
III.1.	INTRODUCTION :	44
III.2.	TYPES D'ENERGIE :	44
III.3.	ÉNERGIES FOSSILES OU RENOUVELABLES	45
III.4.	LA GESTION DE L'ENERGIE :	47
III.5.	GESTION ET PLANIFICATION DE L'ENERGIE DANS LES VILLES INTELLIGENTES	48
III.6.	MODELES DES SYSTEMES ENERGETIQUES DANS UN CONTEXTE DE VILLE INTELLIGENTE : 49	
III.7.	APPROCHE DE MODELISATION	50
III.8.	UTILISATION DES SIG 3D POUR LA PLANIFICATION ENERGETIQUE DES VILLES INTELLIGENTES	51
III.9.	CONCLUSION	52
Chapitre IV. Méthodologie		53
IV.1.	INTRODUCTION.....	53
IV.2.	PROBLEMATIQUE	53
IV.3.	LA DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE	54
•	LA ZONE I :	55
•	LA ZONE III	56
IV.4.	DEFINITION DES DONNEES :	56
IV.5.	CHOIX DES OUTILS DE TRAVAIL	57
IV.6.	PHASES DE REALISATION DU PROJET.....	57
IV.7.	CONCLUSION	58
Chapitre V. Expérimentation		59
V.1.	INTRODUCTION.....	59
V.2.	REALISATION DU SIG 2D.....	59
A.	INTEGRATION DES DONNEES.....	59
V.3.	REALISATION DU SIG 3D.....	62
A.	MODELISATION 3D	62
B.	ANALYSES SPATIALES 3D.....	63
V.4.	CONCLUSION	68

Liste des tableaux :

Tableau II-1 : Synthèse des six dimensions pour devenir une ville intelligente 32

Liste des figures :

Figure I-1: Informatisation des données géo référencées à partir des SIG.....	11
Figure I-2 : Les composants d'un SIG.....	15
Figure I-3:Schéma représentant la structure d'un SIG	16
Figure I-4: Types de données dans un SIG [3]	18
Figure I-5: Mode de représentation de données raster.....	19
Figure I-6 : Les trois géométries de base : point, ligne et polygone [5].....	20
Figure I-7 : exemple de données attributaires.....	21
Figure I-8Organisation des données dans un SIG sous forme de couches thématiques	22
Figure I-9 : Représentation 3D des bâtiments, en extrudant la valeur d'un champ.....	24
Figure I-10 : Objets cectoriels en 3D.....	25
Figure I-11 Modèle numérique de terrain sous format matriciel.....	25
Figure I-12 : Représentation des données 3D avec un SIG. A gauche le drapage d'une orthophotographie sur un MNT, à droite, des bâtiments 3D texturés	26
Figure II-1 : Carte des agglomérations de plus de 500 000 habitants en 2018 et de leur taux de croissance entre 1990 et 2018	29
Figure II-2Schéma des six leviers d'une ville intelligente [17].....	31
Figure II-3: Différentes sphères d'intervention d'une ville intelligente [19]	37
Figure II-4: ville intelligente de Singapour.....	40
Figure II-5 : Ville intelligente Barcelone.....	41
Figure II-6 : Ville intelligente MASDAR (EAU).....	42
Figure II-7 : Nouvelle ville SIDI ABDELAH	42
Figure III-1 : Classification des zones d'intervention énergétique dans la ville intelligente.....	49
Figure III-2 : Modèle général de conception du système énergétique.....	49
Figure III-3 : Modélisation énergétique d'une smart city en décomposant la ville en sous-systèmes.....	50
Figure IV-1 : Plan de situation du P.O.S El H'chem.....	54
Figure IV-2 : Représentation de composition urbaine de la zone 1.	55
Figure IV-3 : La représentation de composition urbaine de la zone 2.....	56
Figure IV-4 : La représentation de composition urbaine de la zone 3.....	56
Figure IV-5 : Organigramme des phases de la réalisation.....	58
Figure V-1 : Images stellite de la zone d'El H'chem	60
Figure V-2:Couches thématiques sous ArcGis	61
Figure V-3 : Extrait de la table batiments.....	61

Figure V-4 : Organisation des couches thématiques sous Arcgis Desktop	62
Figure V-5 : Base de données géographique 3D avec ArcGis Pro	63
Figure V-6: demande en énergie par TYPE DE BATIMENT	64
Figure V-7: Estimation de la demande en énergie par type de bâtiment.....	64
Figure V-8: Répartition spatiale des bâtiments publiques.....	65
Figure V-9: Répartition spatiale de la demande d'énergie pour les bâtiments publiques	65
Figure V-10: Estimation de la demande en énergie des bâtiments publiques par type	66
Figure V-11: Estimation de la demande en énergie des bâtiments par quartier	66
Figure V-12: Estimation de la demande en énergie des BATIMENTS PUBLIQUES par quartier	67
Figure V-13 : ESTIMATION globale de la demande en énergie par quartier	67

Tableau des abréviations :

SIG :	Système d'Information Géographique
3D :	Trois Dimensions ou tridimensionnelle
IG :	Information Géographique
MNT :	Modèle Numérique de Terrain.
ESRI :	Environmental Systems Research Institute
ONU :	Organisation des Nations Unies
TIC :	Technologies de l'Information et des Communications.
GPS:	Global Positioning System
IBM:	International Business Machines

Introduction générale

La ville intelligente est un concept relativement nouveau qui a été défini par de nombreux auteurs et institutions et utilisé par beaucoup d'autres. La ville intelligente a pour but de traiter ou d'atténuer les problèmes, grâce à une efficacité maximale et à l'optimisation des ressources, les problèmes générés par l'urbanisation rapide et la croissance démographique, tels que l'approvisionnement en énergie, la gestion des déchets et la mobilité. De nombreuses classifications des domaines d'intervention des villes intelligentes peuvent être trouvées dans la littérature.

La gestion de l'énergie est l'une des questions les plus exigeantes au sein de ces centres urbains en raison de la complexité des systèmes énergétiques et de leur rôle vital. C'est pourquoi une attention et des efforts importants doivent être consacrés à ce problème.

La modélisation et la simulation sont les principaux outils couramment utilisés pour évaluer l'impact technologique et politique des solutions intelligentes, ainsi que pour planifier les meilleurs moyens de passer des villes actuelles à des villes plus intelligentes.

La gestion de l'énergie domestique est un ensemble de services permettant aux décideurs d'effectuer efficacement la gestion et le contrôle de la demande. Pour définir la notion de système d'information géographique (SIG), on peut d'abord partir de celle, plus générale, de système d'information : système de communication permettant de communiquer et de traiter l'information.

Un SIG est donc, par définition, un système permettant de communiquer et de traiter l'information géographique, c'est-à-dire, au sens étymologique du terme, décrivant le monde terrestre.

Les systèmes d'information géographiques (SIG) sont à la croisée de quatre disciplines techniques : les bases de données, la cartographie automatique, le dessin assisté par ordinateur (DAO) et la télédétection (analyse d'imagerie satellitaire).

Les logiciels SIG allient aujourd'hui les capacités de stockage, de gestion, de traitement et d'analyse d'une base de données avec une représentation cartographique des données et des résultats des traitements donnant du relief aux bases de données.

Un système d'information géographique permet donc de gérer des données, que l'on a placées géographiquement sur un fond de carte. Ces bases de données peuvent ensuite

être interrogées pour effectuer des analyses statistiques, avec l'avantage supplémentaire d'une visualisation synthétique et spatiale propre aux cartes.

Les SIG 3D prennent de plus en plus la place des SIG classiques, en effet des cités prennent vie sous la forme de villes virtuelles à 3 dimensions dans lesquelles on peut non seulement naviguer, se déplacer comme un piéton, comme un oiseau, mais aussi procéder à des simulations environnementales.

Les SIG 3D forment un miroir dans lequel nous pouvons suivre les défauts ainsi que l'impact des lois et des règles qui régissent un territoire, ce qui aide à court terme à améliorer l'objet de ces lois et de ces règles, d'appliquer ces décisions à moyen terme, et enfin dans le long terme à voir l'évolution de notre cité virtuelle.

Les SIG 3D sont de outils de modélisation puissant qui permettent une meilleure évaluation de la dimension énergétique d'une ville (de l'offre à la distribution à la demande) dans une approche intégrée qui permet une meilleure compréhension de l'environnement urbain global pour une planification urbaine améliorée et cohérente.

Dans ce travail nous avons utilisé un SIG 3D pour la modélisation et la conception d'une smart city en utilisant ArcGIS Pro. Le but de ce SIG 3D est d'estimer la demande énergétique des bâtiments résidentiels et publiques ainsi que dans les différents quartiers.

Dans le premier chapitre nous allons parler des SIG. Le deuxième chapitre sera consacré aux villes intelligentes. Dans le troisième chapitre nous allons parler de la gestion et la planification de l'énergie dans les milieux urbains. Nous exposerons notre démarche méthodologique dans le quatrième chapitre. Enfin le cinquième chapitre sera consacré à la présentation des résultats de nos travaux.

Chapitre I. Les Systèmes d'Information Géographique

I.1. Introduction :

Le concept de “Système d'Information” décrit la gestion de l'information au sein d'une organisation.

Un Système d'Information Géographique peut être caractérisé par la même structure à quatre composants : il s'agit d'un système informatique composé de matériel, de logiciels, de données et de programmes d'applications. Un tel système est destiné à la saisie de données géolocalisées, à leur stockage et réorganisation, à leur modélisation et à leur analyse ainsi qu'à leur représentation sous forme alphanumérique ou graphique. Un Système d'Information Géographique (SIG) est un outil informatique de représentation et d'analyse de données géographiques localisées. C'est principalement cette possibilité d'analyse spatiale qui les différencie de tous les autres systèmes de gestion et de manipulation de données [1].

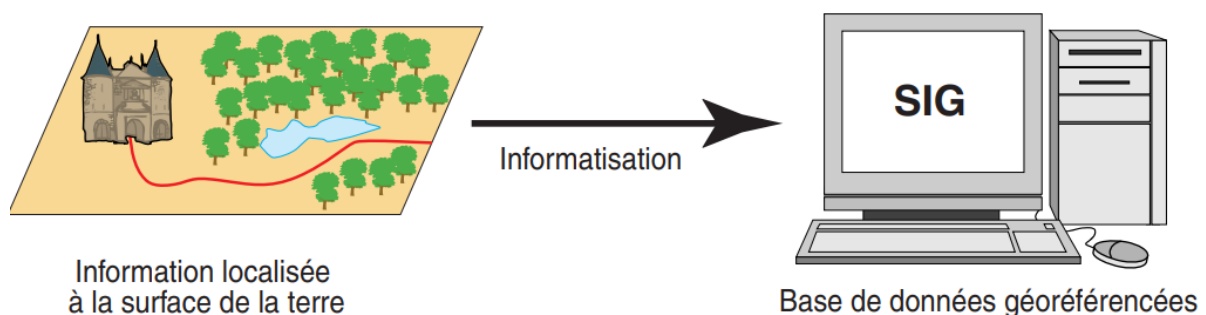


Figure I-1: Informatisation des données géo référencées à partir des SIG

I.2. L'information géographique (IG)

L'IG est une donnée ayant une référence spatiale sous forme de :

1. Coordonnées géographiques
2. Nom de lieu
3. Adresse postale ou autre.

L'IG est obtenue, déposée, analysée, affichée et partagée à l'aide de Système d'Information Géographique (SIG). C'est une information liée à un objet ou à un phénomène, décrit plus ou moins complètement :

- 1) Par ses caractéristiques diverses (c.-à-d. sa nature et son aspect).
- 2) Par son emplacement sur la terre.

Le premier groupe de données est appelé aussi attributs, alors que le second groupe est appelé données géométriques.

Par exemple l'IG sur une route se définit par son nombre de voies, son revêtement, son nom, sa grandeur et son positionnement sur la surface terrestre.

I.3. Définitions des Système d'Information Géographique (SIG) :

Il existe plusieurs définitions de Système d'Information Géographique (SIG), mais nous nous focalisons uniquement sur les définitions les plus importantes :

- ***La définition de l'économiste Michel Didier (1990) :***

« Un SIG est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision ».

- ***Selon le Comité Fédéral de Coordination Inter-agences pour la Cartographie Numérique aux États-Unis (1988) :***

« Un SIG est un système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçu pour permettre : la collection, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, l'affichage des données à référence spatiale, afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion ».

- ***Selon la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection :***

« Un SIG est un système informatique qui permet à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace ».

I.4. Les fonctionnalités d'un SIG

Un SIG répond à 5 fonctionnalités (les 5 A) :

- 1) *L'abstraction* : qui est la modélisation de l'information,
- 2) *L'acquisition* : qui consiste à récupérer l'information existante et alimenter le système en données,
- 3) *L'archivage* : qui consiste à stocker les données de façon à les retrouver et à les interroger facilement,
- 4) *L'analyse* : qui est la réponse aux requêtes, et qui est le cœur même du SIG,
- 5) *L'affichage* : qui consiste à restituer graphiquement les données spatiales.

Un SIG est donc un environnement informatisé d'analyse de l'information spatiale numérisée.

I.5. Les composants d'un SIG :

Il faut noter qu'un système information géographique fonctionne avec un large panel de composants. D'abord nous avons les logiciels et matériels qui permettent l'analyse et l'affichage de l'information. Ensuite nous avons les données qui vont nous permettre d'avoir la représentation de l'information puis les utilisateurs qui seront en interaction avec notre système et enfin les méthodes, car tout bon système a besoin de bonne pratique pour pouvoir fonctionner. Voici représenté ci-dessous les composants d'un SIG.

Un Système d'Information Géographique est constitué de 5 composants majeurs [2] :

a) Le matériel :

Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme de matériels, des serveurs de données et des ordinateurs connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.

b) Les logiciels :

Les logiciels SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations.

Les principaux composants logiciels d'un SIG sont :

- ❖ Les outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
- ❖ Les systèmes de gestion de base de données.
- ❖ Les outils géographiques de requête, d'analyse et de visualisation.
- ❖ Les interfaces graphiques utilisateur pour une utilisation facile.

c) Les données :

Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

d) Les utilisateurs :

Un Système d'Information Géographique (SIG) étant avant tout un outil, c'est son utilisation qui permet d'en exploiter la quintessence.

Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.

e) Les méthodes :

La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation.

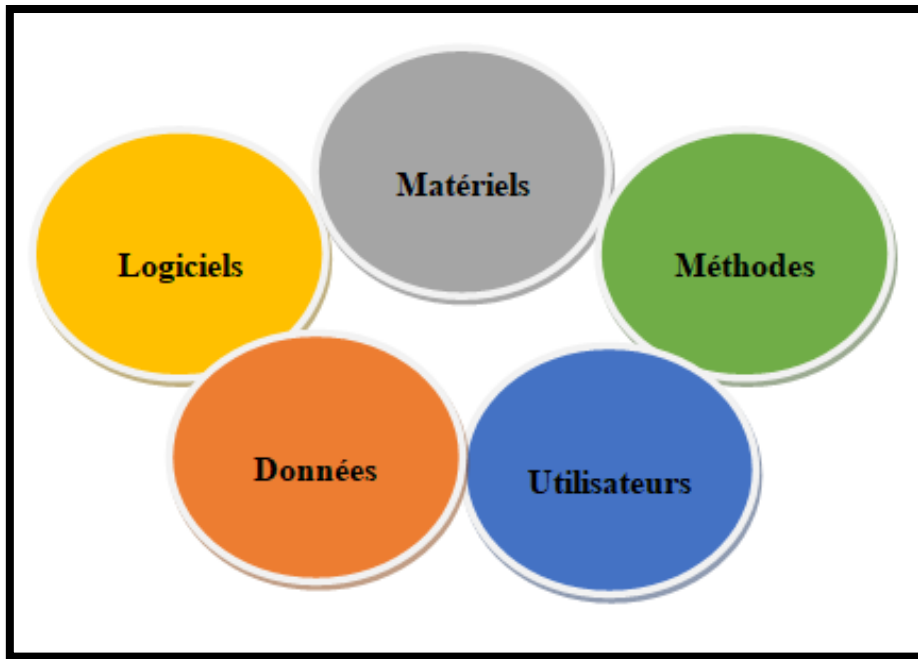
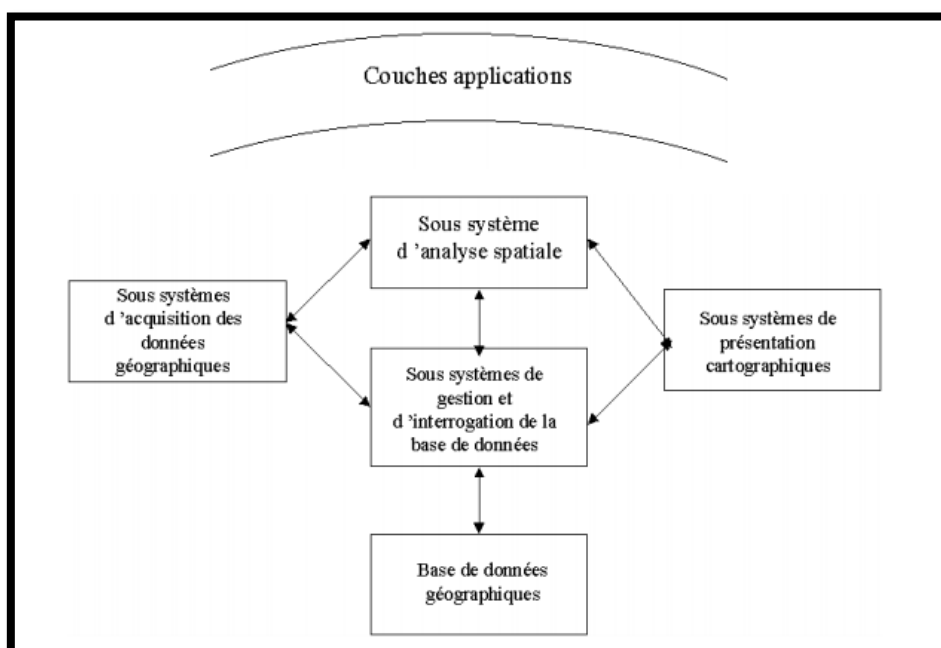


FIGURE I-2 : LES COMPOSANTS D'UN SIG

I.6. Structure d'un SIG :

La FigureI-3 met en évidence quatre groupes de fonctionnalités au-dessous d'une couche d'applications : l'acquisition des données géographiques d'origines diverses, la gestion pour le stockage et la recherche des données, l'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation et enfin la présentation des résultats sous forme cartographique.



I.7. Domaines d'application des SIG

Les SIG sont utilisés pour gérer et étudier une gamme diversifiée de phénomènes. Nous pouvons citer :

- **Les ressources naturelles** : comme la protection des zones humides, l'études d'impact environnemental, l'évaluation du potentiel panoramique, la gestion des produits dangereux, la modélisation des eaux souterraines et le dépistage des contaminants, l'études des habitats fauniques et des migrations, la recherche du potentiel minier, etc.

- **Les études urbaines** : comme la localisation à partir des adresses civiques, la planification des transports, le développement de plan d'évacuation, la sélection des sites, la planification et la distribution des flux de véhicules, la localisation des accidents, la sélection d'itinéraires, etc.

- **L'administration locale** : comme la gestion du cadastre, le zonage, l'évaluation foncière, la gestion de la qualité des eaux, l'entretien des infrastructures, l'études de l'impact environnemental, les schémas d'aménagement, etc.

- **La gestion des installations et des réseaux** : comme la localisation des câbles et tuyaux souterrains, le rééquilibrage des réseaux électriques, la planification et l'entretien des installations, la localisation des dépenses énergétiques, etc.

- **La santé** : à l'instar de l'épidémiologie, la répartition et évolution des maladies et des décès, la distribution des services sociaux et sanitaires, les plans d'urgence, etc.

- **La protection de l'environnement** : comme l'étude des changements globaux, le suivi des changements climatiques, biologiques, morphologiques et océaniques, etc.

I.8. Les logiciels SIG :

Il existe plusieurs logiciels SIG, nous présentons SIG suivants :

A. Les logiciels libres :

- **GRASS GIS** : Il rassemble des propriétés de traitement d'images satellitaires et des fonctionnalités à base topologique.
- **Map Server** : Logiciel libre d'édition des cartes sur le web.
- **QGIS** : Il permet de visualiser les cartes ainsi que leurs transformations. Il présente une qualité qui le rend très simple à utiliser.
- **PostGIS** : C'est une extension pour la base de données PostgreSQL, qui permet de faire des requêtes SQL et spatiales.
- **uDig, gvSIG** : Logiciels libres développés en Java pour Linux et Windows.

B. Logiciels Gratuits :

- **DIVA-GIS** : Offre des outils d'analyse statistique et géostatistique de l'information géographique.
- **AutoDEM** : Il propose des dispositifs pour générer des modèles numériques de terrains (MNT) à partir de courbes de niveaux. Il supporte plusieurs formats tel que les images raster et les courbes de niveaux de type vectoriel.

C. Logiciels Commerciaux :

- **ArcGIS** : (ArcInfo, ArcView, etc.) de chez ESRI.
- **GeoMapGIS** : Métiers s'appuyant sur l'environnement Autodesk (AutoCAD, AutodeskMap, AutodeskMapGuide, etc.).
- **Manifold** : Logiciel novateur (serveur, géocodage, 3D, script .net, sgbd).

I.9. Les données dans les SIG :

I.9.1. Types de données dans les SIG :

Les données spatiales peuvent être de deux types : spatiales et attributaires.

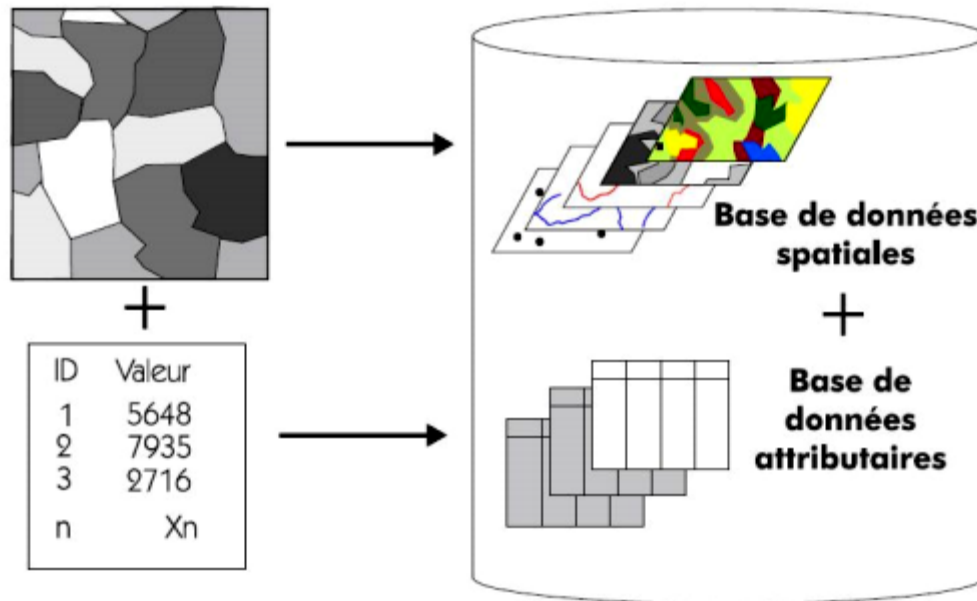


FIGURE I-4: TYPES DE DONNEES DANS UN SIG [3]

D. Les données spatiales :

Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont figurés et reconnus tous les objets graphiques (FigureI-4). Ces caractéristiques sont :

- La localisation : sont les coordonnées de l'objet par rapport à un référentiel (méridien de référence).
- La forme : peut-être un point, une ligne, ou un polygone.
- La taille : longueur, périmètre, surface.

Dans les SIG, il y a 2 modes de projection des données géographiques :

a) Données raster :

La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera "représentée" par un ensemble de points d'intensité identique [4].

La valeur numérique attribuée à chaque cellule correspond à la valeur d'attribut (Figure I-5). Les démarcations se produisent aux limites des ensembles de cellules de même valeur ne correspondent pas nécessairement aux frontières des entités sur le terrain.

Dans sa forme la plus simple, un raster se compose d'une matrice de cellules (ou pixels) organisées en lignes et en colonnes (grille) dans laquelle chaque cellule contient une valeur représentant des informations ; la température, par exemple. Les rasters sont des photographies aériennes numériques, des images satellite, des images numériques, voire des cartes numérisées.

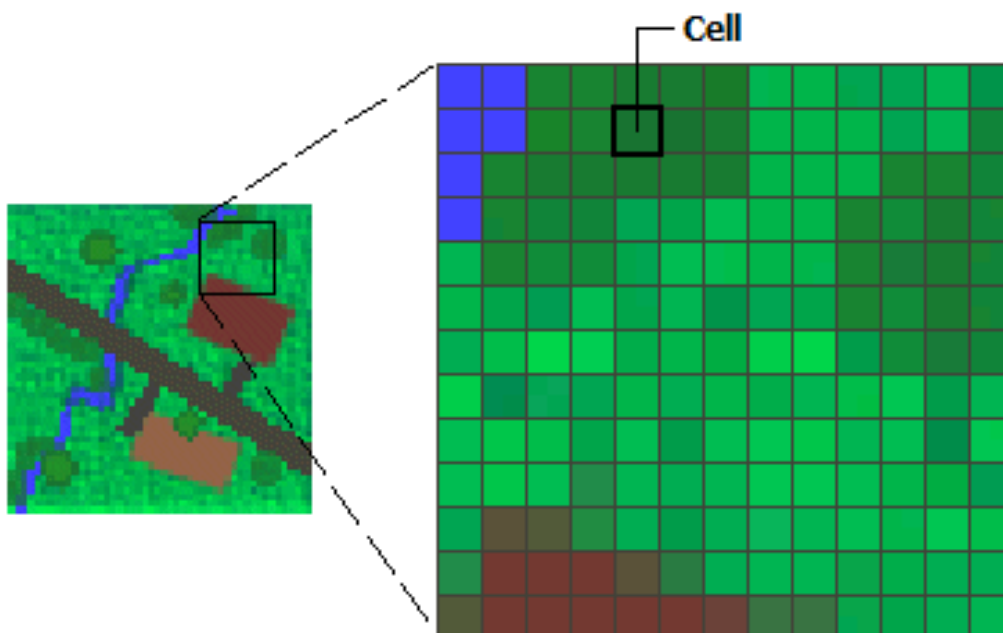


FIGURE I-5: MODE DE REPRESENTATION DE DONNEES RASTER

Les données stockées sous un format raster représentent des phénomènes réels :

- Les données thématiques (désignées également sous le nom de données discrètes) représentent des entités telles que des données de sol ou d'occupation du sol.
- Les données continues représentent des phénomènes tels que la température ou l'altitude, ou encore des données spectrales telles que des images satellite et des photographies aériennes.
- Les images incluent des cartes ou dessins numérisés et des photographies de constructions.

Les rasters thématiques et continus peuvent être affichés sous la forme de couches de données avec d'autres données géographiques sur une carte.

Bien que leur structure soit relativement simple, les données raster se révèlent particulièrement utiles pour un large éventail d'applications.

b) Données vectorielles

Elles ne sont pas composées de pixels. Les vecteurs sont des « dessins mathématiques ». On parle également de dessins vectoriels ou d'images vectorielles.

On distingue trois grands types de géométries : point, ligne et polygone. Si un vecteur est composé d'un seul nœud, un seul point : le vecteur est un point. Si un vecteur est composé de plusieurs points reliés entre eux, mais ne formant pas de forme géométrique fermée : le vecteur est une ligne. Enfin, si un vecteur est composé de plusieurs points reliés entre eux, et formant une forme géométrique close : le vecteur est un polygone.

Y lambert93

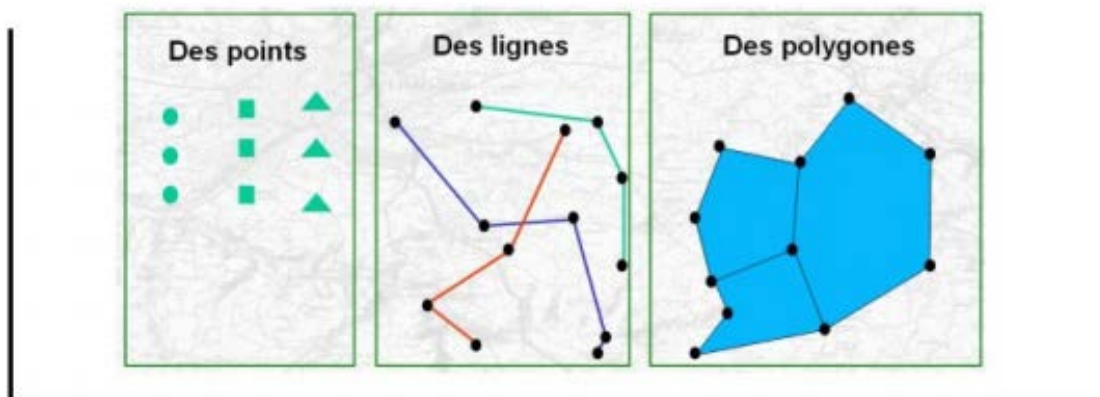


FIGURE I-6 : LES TROIS GEOMETRIES DE BASE : POINT, LIGNE ET POLYGONE [5]

E. Les données attributaires :

Les descriptifs des objets géographiques, les attributs sont stockés dans une table attributaire, associée aux objets géographiques d'un même thème.

Par exemple les attributs décrivant les communes sont stockés dans la table attributaire définie par des champs. Chaque commune correspond à un enregistrement dans la table attributaire et possède un identifiant unique. Les données attributaires peuvent

provenir d'autres sources comme des fichiers textuels (format xls, csv, dbf) ou des bases de données (PostgreSQL, SQL Server, Oracle...).

The screenshot shows a window titled "Table attributaire - COMMUNE" with a toolbar and a table of data. The table has 13 columns: ID_BDCARTO, NOM_COMM, INSEE_COMM, STATUT, X_COMMUNE, Y_COMMUNE, SUPERFICIE, POPULATION, INSEE_CANT, INSEE_ARR, and NOM_DEPT. The data is as follows:

ID_BDCARTO	NOM_COMM	INSEE_COMM	STATUT	X_COMMUNE	Y_COMMUNE	SUPERFICIE	POPULATION	INSEE_CANT	INSEE_ARR	NOM_DEPT
0	720000282 SAINT-JEAN-DE-L...	72291	Commune simple	478935	6744018	3203	900	26	1	SARTHE
1	720000009 ARTHEZE	72009	Commune simple	466877	6748256	865	400	17	1	SARTHE
2	490000363 VALLANDRY	49380	Commune simple	472055	6726373	2765	300	04	3	MAINE-ET-LOIRE
3	490000100 CLEFS	49101	Commune simple	470066	6730106	2592	900	04	3	MAINE-ET-LOIRE
4	720000180 MAREIL-SUR-LOIR	72185	Commune simple	475371	6739051	1183	600	14	1	SARTHE
5	720000042 BOUSSE	72044	Commune simple	470515	6745247	1202	400	17	1	SARTHE
6	720000021 LE BAILLEUL	72022	Commune simple	462145	6746131	2746	1200	17	1	SARTHE
7	720000081 CLERMONT-CRE...	72084	Commune simple	473148	6741278	1782	1200	14	1	SARTHE
8	720000174 MALICORNE-SUR...	72179	Chef-lieu de cant...	469673	6750652	1513	2000	17	1	SARTHE
9	720000348 THOREE-LES-PINS	72357	Commune simple	477876	6733984	2818	700	16	1	SARTHE
10	720000131 LA FONTAINE-SA...	72135	Commune simple	479050	6747256	1372	600	26	1	SARTHE
11	720000149 LA FLECHE	72154	Sous-préfecture	470872	6737445	7421	15400	14	1	SARTHE
12	720000366 VILLAINES-SOUS...	72377	Commune simple	467557	6744178	1916	1000	17	1	SARTHE
4	720000104 CRE	72108	Commune simple	464444	6733839	1719	800	14	1	SARTHE

FIGURE I-7 : EXEMPLE DE DONNEES ATTRIBUTAIRES

I.10. Définition d'une couche thématique :

L'ensemble, des données géométriques et des données attributaires constituent une couche thématique. Pour chaque objet graphique correspond à un enregistrement dans la table attributaire.

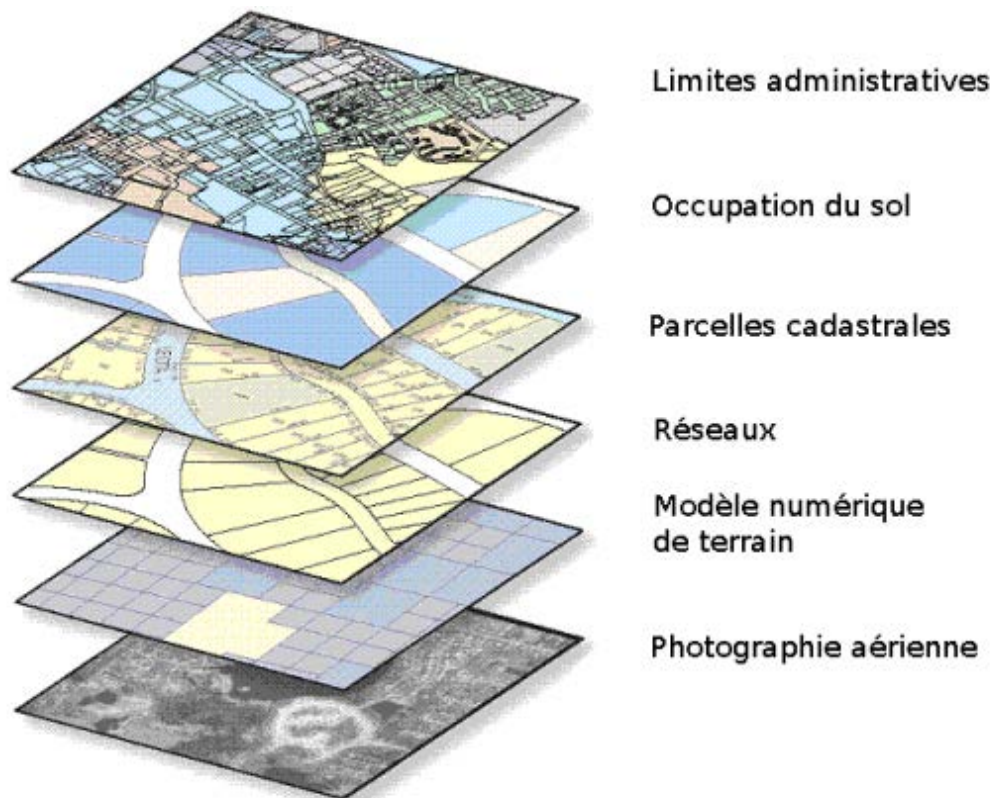


FIGURE I-8 ORGANISATION DES DONNEES DANS UN SIG SOUS FORME DE COUCHES THEMATIQUES

I.11. Notion de base de données géographique :

Les SIG stockent les données spatiales et les données attributaires sous forme d'une base de données géographique, cette dernière est composée d'une série de couches d'information géographique ordonnées de manière efficace pour être utilisées par une ou plusieurs applications. Il faut noter que les données doivent être rendues « superposables », c'est-à-dire dans le même système de coordonnées ou dans des systèmes compatibles (une « transformation géographique » permettant de passer d'un système à l'autre).

I.12. Les SIG 3D

Grâce à l'ajout de la 3D, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) peuvent désormais offrir une modélisation plus fine de la réalité, ouvrant ainsi de nouveaux champs d'application.

Même si la cartographie exploite depuis très longtemps des données altimétriques sous la forme de courbes de niveau notamment, la carte est restée définitivement plate et les

objets représentés ne s'observaient que d'en haut ! Impossible de contempler les façades des bâtiments ou de suivre l'évolution dans l'espace l'itinéraire d'une conduite d'eau. Tout change avec la 3D : avec cette nouvelle dimension, les SIG permettent désormais de représenter tous les objets présents dans l'espace, sous réserve de disposer de l'information.

A. LES DIFFÉRENTES FORMES DE L'INFORMATION 3D DANS LE SIG :

Dans le SIG, l'information 3D est présente sous forme d'un simple attribut, ou directement dans la géométrie de l'objet, ou encore sous forme de matrice (image). Les trois approches sont complémentaires.

➤ Sous forme d'attribut :

S'appuyant sur la particularité des données SIG permettant d'associer à un objet graphique des informations textuelles et numériques (les attributs), l'information d'altitude (ou hauteur) est stockée comme un simple attribut dans la table.

Par exemple, pour chaque emprise de bâtiment, une hauteur de toit est associée sous forme d'attribut dans la table. Les bâtiments sont modélisés par une simple élévation de leur emprise au sol. Simple à mettre en œuvre, cette modélisation 3D attributaire permet de répondre à des besoins simples ou à petite échelle là où une modélisation fine n'est pas requise. On parle alors d'extrusion de données.



FIGURE I-9 : REPRESENTATION 3D DES BATIMENTS, EN EXTRUDANT LA VALEUR D'UN CHAMP

➤ **Sous forme vecteur :**

L'information d'altitude est directement stockée dans la géométrie de l'objet. Chaque point décrivant l'objet est positionné dans l'espace par les 3 coordonnées X, Y et Z.

Par exemple une maison peut être décrite en 3D avec la forme de son toit. Cette approche permet de définir des objets très précisément en permettant notamment d'attribuer différentes altitudes pour un objet. Combinant différents objets ainsi décrits en 3D, il est possible d'atteindre un très haut degré de précision. Cependant, reprenant des techniques de modélisation 3D des images de synthèse, cette technique demande une quantité d'information 3D très importante nécessitant des techniques d'acquisition pointues et des outils puissants de manipulation. Les limites techniques des SIG actuels peuvent vite être atteintes et l'utilisation d'outils spécifiques de modélisation 3D est parfois requise (3DS Max, SketchUp...).

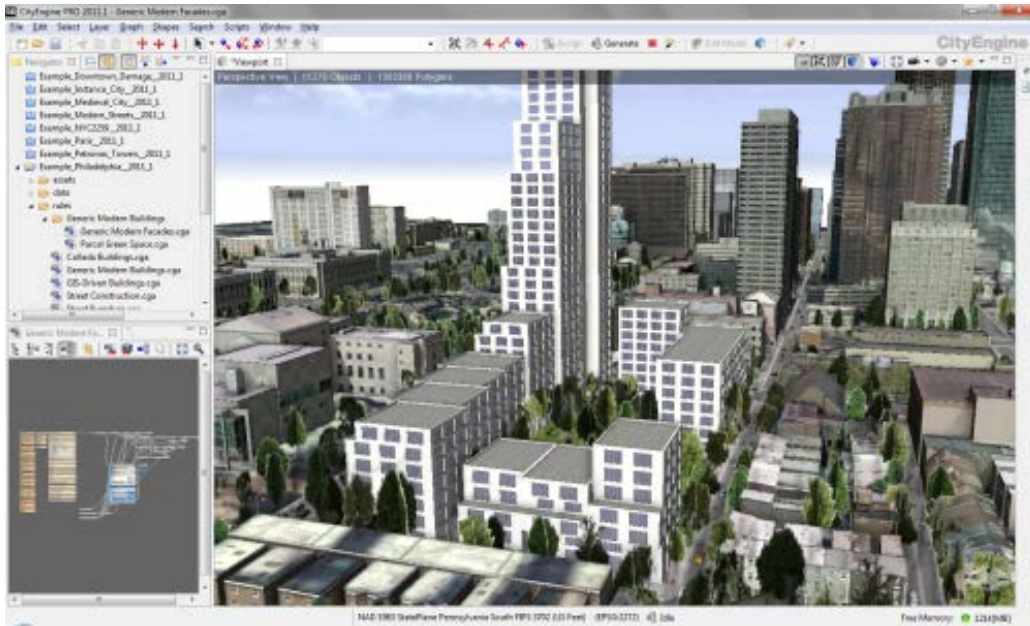


FIGURE I-10 : OBJETS SECTORIELS EN 3D

➤ **Sous forme de matrice :**

Les données SIG 3D peuvent également se présenter comme des matrices (ou images) où chaque cellule contient une information altimétrique. Les principales données de type "Matrice" utilisées sont les modèles numériques de Terrain (MNT) ou d'élévation (MNE). Dérivé des données précédentes, la donnée 3D peut également se présenter sous forme de TIN (Triangle Irregular NetWork). Il s'agit d'un assemblage de triangles jointifs dont chaque sommet est positionné dans l'espace

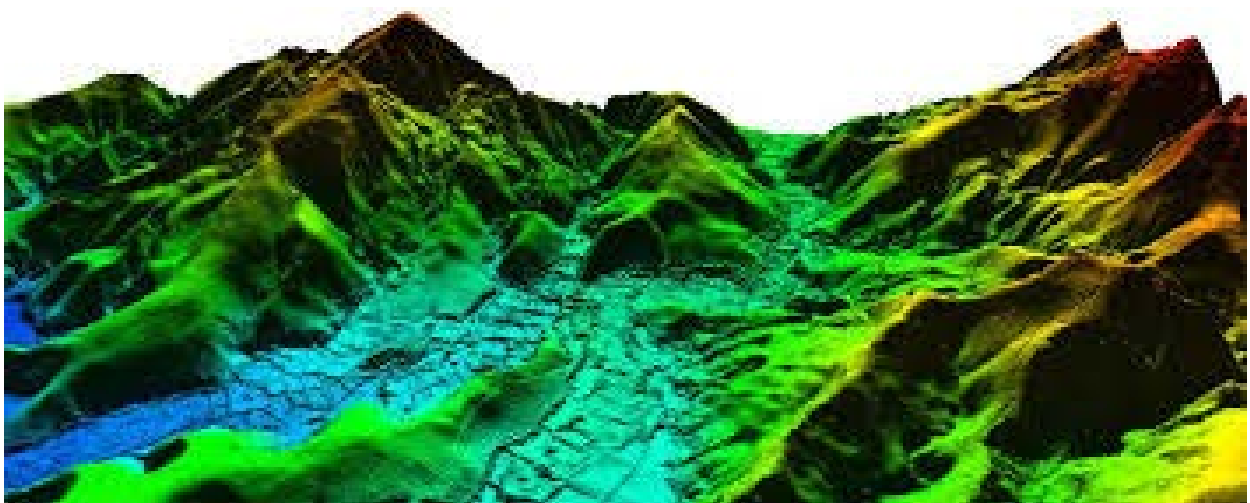


FIGURE I-11 MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN SOUS FORMAT MATRICIEL

B. La représentation des objets en 3d

La représentation des objets en trois dimensions est l'un des points sensibles de la 3D. Le drapage d'une orthophotographie plan sur un MNT ne pose aujourd'hui plus de problèmes et la quasi-totalité des outils SIG du marché le propose. La gestion de la représentation des bâtiments en 3D est plus sensible. Si le principe est simple (drapage d'une texture sur les murs du bâtiment), la réalisation est plus ardue.

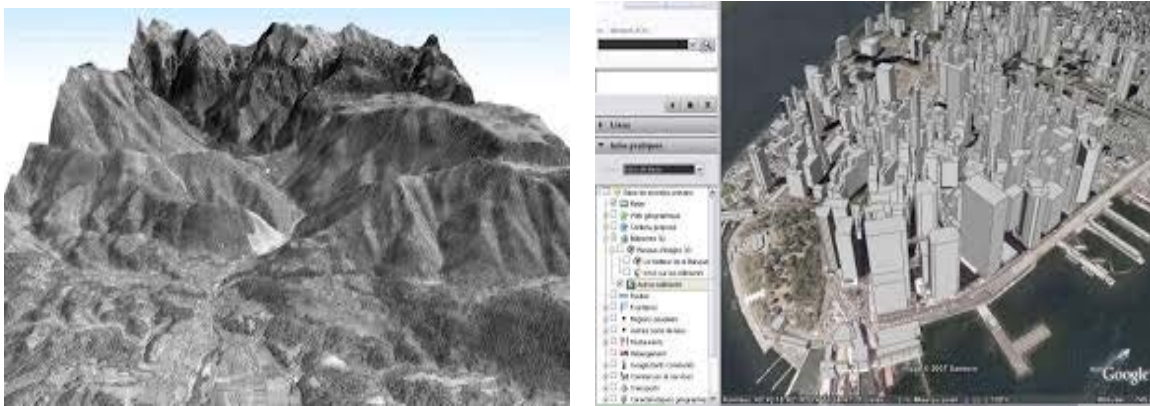


FIGURE I-12 : REPRESENTATION DES DONNEES 3D AVEC UN SIG. A GAUCHE LE DRAPAGE D'UNE ORTHOPHOTOGRAPHIE SUR UN MNT, A DROITE, DES BATIMENTS 3D TEXTURES

C. Acquisition des données 3D

Même si les techniques évoluent rapidement, la 3D est restée une donnée onéreuse, nécessitant des technologies conséquentes. Les techniques d'acquisition classiques de mesure d'objets 3D sont les mesures sur le terrain : GPS, théodolite, laser... Elles permettent de traiter de petites surfaces et des objets de taille réduite mais garantissent une très haute précision. Les données topographiques sont de très bonnes sources d'information 3D. Les deux autres principales méthodes actuelles d'acquisition sur des grandes surfaces sont la photogrammétrie et le radar aéroporté (Lidar).

I.13. Conclusion :

Le système d'information géographique est un ensemble de matériels, de logiciels et de procédures conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion.

Le SIG né de la nécessité constante de la société pour obtenir des informations sur les territoires, ce qui constitue l'un des domaines les plus dynamiques et innovantes avec un effet indéniable sur la société. Dans le prochain chapitre, nous allons détailler le concept des villes intelligentes.

Chapitre II. Smart Cities (Villes intelligentes)

II.1. Introduction :

Une ville est un espace vivant en constant changement qui s'adapte et qui se modifie au fil du temps. La forme des villes change aussi avec l'augmentation de la concentration de population dans les villes. Pour répondre aux nouveaux défis urbains des villes, les penseurs, les différents acteurs du milieu public et les professionnels ont imaginé et conçu différents modèles et concepts de villes à travers les années.

Ces dernières années, le phénomène d'urbanisation connaît une croissance affolante à travers le monde. D'après les données de l'Organisation des Nations Unies de 2011, la population urbaine mondiale doublera de 2010 à 2050 passants de 2,6 milliards à 5,2 milliards de personnes. Les chiffres de l'ONU de 2008 démontrent que 75% de la population vivait déjà dans des zones urbaines en Europe. Selon leurs prévisions, ce nombre devrait atteindre les 80% d'ici 2020.

68 % de la population vivra en ville en 2050, d'après l'ONU. Aujourd'hui, ce sont 55 % de la population mondiale. 2,5 milliards de personnes s'ajouteront aux agglomérations urbaines d'ici trente ans. Pourtant, en Asie et en Europe, certaines agglomérations perdent de la population : c'est le cas de Busan en Corée du Sud ou de Nagasaki au Japon, par exemple.

Tokyo reste de loin la plus grande agglomération mondiale, au sens de l'ONU, avec 37 millions d'habitants. Elle est suivie par New Delhi (29 millions), Shanghai (26 millions), Mexico et São Paulo (22 millions chacune). Viennent ensuite Le Caire, Bombay (Mumbai), Pékin et Dhaka, autour de 20 millions d'habitants.

Dans ce contexte de croissance urbaine soutenue mais inégale, la durabilité du développement dépendra de la capacité à gérer la croissance urbaine, en particulier dans les pays à bas revenus où elle est la plus rapide. Des politiques intégrées pour améliorer la vie des foyers tant urbains que ruraux, dans tous les domaines, sont plus que jamais nécessaires [6].

Aussi, de nos jours, la majorité des ressources sont consommées par les villes. En effet, elles consomment entre 60% et 80% de l'énergie mondiale et sont donc les principales responsables du réchauffement climatique notamment en raison de leurs émissions de gaz à effet de serre [7].

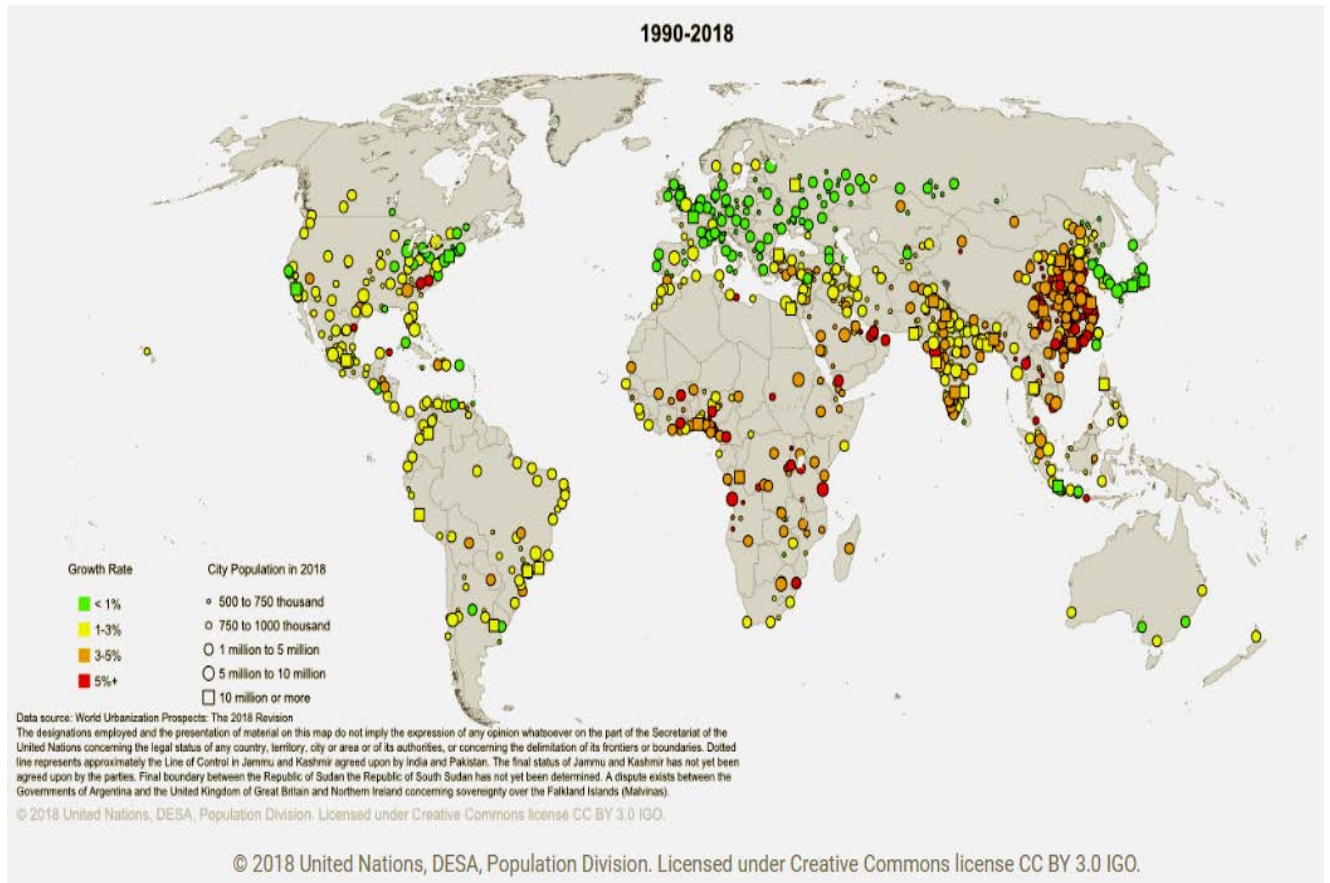


FIGURE II-1 : CARTE DES AGGLOMERATIONS DE PLUS DE 500 000 HABITANTS EN 2018 ET DE LEUR TAUX DE CROISSANCE ENTRE 1990 ET 2018

Alors qu'en 2050 deux tiers de la population mondiale vivent dans des zones urbaines, les villes sont confrontées à des enjeux majeurs, dans un contexte caractérisé par de fortes contraintes financières : sécurité, pollution, gaspillage énergétique, changement climatique, urbanisation galopante, inégalités et exclusion sociale... La smart city est une réponse à ces enjeux [8].

II.2. Définition de la ville intelligente (smart city) :

L'adjectif « smart » (intelligent en anglais) qualifie aujourd'hui tous les objets impactés par l'essor du numérique : smartphone, smartgrids, smart TV, smart cities... Dans un contexte de surmédiation des objets « smart », souvent à des fins

commerciales, il est capital de saisir les impacts causés par leur développement et leur diffusion. Parmi eux, la « ville intelligente » mérite une attention particulière. Elle est au centre d'enjeux à la fois économiques, démocratiques, sécuritaires, et urbanistiques

Ces dernières années, le concept de « smart city » ou « ville intelligente » (qui seront utilisés comme synonymes tout au long de ce travail) a pris une importance considérable. Si le terme smart city est employé à travers le monde, aucune définition claire et précise n'a cependant pu être formulée à son égard. Au travers des différents articles rencontrés, les auteurs essaient d'apporter de plus en plus de précisions étant donné le nombre conséquent de domaines d'applications que recouvre la ville intelligente mais aucune vision et définition universelle n'ont pu être élaborées [9].

Tout d'abord, Dans les différents articles, différentes appellations sont utilisées pour désigner ce concept : intelligent city, knowledge city, ville numérique (digital city), etc. [10]. C'est pourquoi il est important de distinguer la « ville intelligente » de la « ville numérique ».

Ces deux termes sont souvent confondus ou utilisés comme synonymes alors qu'il n'est pas vraiment question de la même chose [11].

a) La ville numérique

La ville numérique repose sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC). Ce concept paraît déshumanisé et peut laisser place à la crainte de voir la ville devenir un poste de contrôle numérique. Cette notion devient intéressante à partir du moment où le numérique est mis au service de la population et de la ville intelligente [12].

b) La ville intelligente

La ville intelligente repose souvent sur des outils numériques permettant une amélioration de la qualité de vie des citoyens. En effet, la technologie est utilisée au service d'un développement intelligent de la zone urbaine aussi bien au niveau de la mobilité que de l'environnement, de la participation citoyenne, etc. Il peut donc

sembler évident que la ville intelligente découle souvent de la ville numérique pour une meilleure gestion urbaine [13].

Parmi les définitions les plus utilisées des smart cities, nous pouvons citer :

1. Les Smart cities représentent un modèle conceptuel de développement urbain fondé sur l'utilisation du capital humain, collectif et technologique pour le développement des agglomérations urbaines [14].
2. Une ville qui surveille et intègre l'état de toutes ses infrastructures critiques, y compris les routes, les ponts, les tunnels, les rails, les métros, les aéroports, les ports maritimes, les communications, l'eau, l'électricité et même les grands bâtiments, peut mieux optimiser ses ressources, planifier ses activités de maintenance préventive et surveiller les aspects de sécurité tout en maximisant les services à ses citoyens [15].
3. Une ville intelligente infuse des informations dans son infrastructure physique pour améliorer les commodités, faciliter la mobilité, accroître l'efficacité, économiser l'énergie, améliorer la qualité de l'air et de l'eau, identifier les problèmes et les résoudre rapidement, se remettre rapidement des catastrophes, collecter des données pour prendre de meilleures décisions, déployer efficacement les ressources et partager les données pour permettre la collaboration entre les entités et les domaines[16].

II.3. Les composantes de la ville intelligente :

La figure suivante présente les six dimensions pour devenir une ville intelligente.

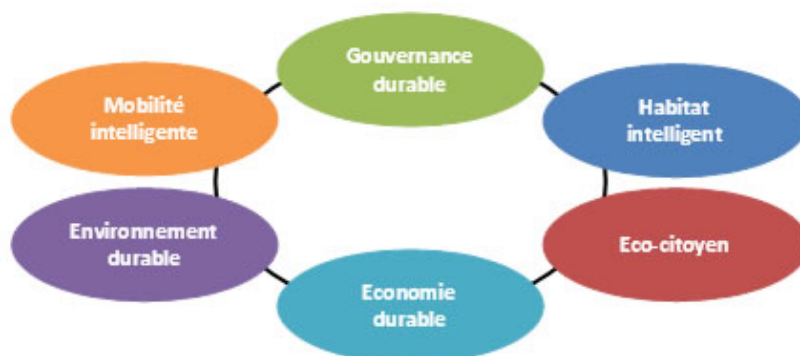


FIGURE II-2SCHEMA DES SIX LEVIERS D'UNE VILLE INTELLIGENTE [17]

Pour bien comprendre l'importance de ces six dimensions en relation avec les problématiques auxquelles elles répondent, le Tableau II-1 constitue une synthèse présentant les dimensions pour devenir une ville intelligente, les défis urbains actuels, les outils de mise en œuvre ainsi que les objectifs visés.

TABLEAU II-1 : SYNTHÈSE DES SIX DIMENSIONS POUR DEVENIR UNE VILLE INTELLIGENTE

DIMENSIONS DE LA VILLE INTELLIGENTE	DEFIS URBAINS ACTUELS	OUTILS DE MISE EN ŒUVRE	OBJECTIFS ET RESULTATS VISES
1- ÉCONOMIE INTELLIGENTE	Difficulté d'attirer de nouvelles entreprises au centre de la ville.	- Transactions en lignes - Échanges de données informatisées	Attirer des entreprises et de la main-d'œuvre, créer des emplois durables créant de la valeur.
2- GOUVERNANCE DURABLE	Gouvernance fermée et peu transparente	- Panneaux informatifs électroniques - Web diffusion - Logiciel pour le suivi des requêtes en ligne	Gouvernance intégrée, transparente, ouverte et favorisant la coopération.
3-HABITAT INTELLIGENT	Gestion du développement urbain, étalement urbain, qualité et accessibilité aux services offerts.	- 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.
4- ÉCO-CITOYEN	La qualité des services rendus aux citoyens, La participation citoyenne.	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.
5- MOBILITE INTELLIGENTE	Infrastructures routières vieillissantes, congestion du réseau routier, demande croissante en transport en commun	- 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
6- ENVIRONNEMENT DURABLE	Consommation des ressources naturelles, gestion de l'eau, gestion des matières résiduelles	-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.

Les six composantes de la ville intelligente présentées dans les schémas sont illustrées de façon non hiérarchique. Tel que classé dans le Tableau II.1 mentionné

précédemment et dans les paragraphes qui suivent, chacune des composantes est définie selon une hiérarchie proposée.

Cette hiérarchie est en fait une suite logique de processus ou étapes par lesquels une ville deviendra intelligente. Avant le tout début d'une démarche, il est essentiel d'avoir l'appui de l'instance qui gouverne et par le fait même avoir une bonne gouvernance qui est adaptée et spécifique à la démarche et aux objectifs visés. Ensuite, dans la ville intelligente le citoyen est une partie prenante qui participera de près ou de loin à la réussite de cette démarche. Une fois que les deux dimensions précédentes sont ancrées et bien établies dans la démarche, les quatre autres dimensions sont d'égale importance. C'est-à-dire que l'on doit toutes les considérer si l'on veut devenir une ville intelligente, et ce, à importance égale.

- **Économie intelligente :**

Une compétitivité accrue dans un milieu entrepreneurial flexible, adaptable à son environnement et innovateur, des plates-formes innovantes de financement. Cela permettrait aux petites entreprises de prendre des prêts ou de recevoir des subventions pour développer leurs activités. Ex : Mettre à la disposition des acteurs publics et des entrepreneurs privés un lieu d'expérimentation de nouveaux services urbains.

- **Gouvernance durable (Gouvernance intelligente) :**

Une meilleure intégration de services sociaux et publics dans le processus de décision des projets. Ex : Développement de la démocratie participative entre les citoyens et les agents publics locaux grâce aux outils numériques.

- **Habitat intelligent :**

Garantir une qualité de vie aux habitants avec l'appui des nouvelles technologies permettant de réduire leur empreinte écologique. Ex : Construction d'un quartier où les bâtiments sont à énergie positive.

- **Ecocitoyen (Citoyen intelligent) :**

Mise en place d'un capital social et culturel cosmopolite afin de stimuler la créativité et la participation des citoyens à la ville. Ex : Mise en place de smart city où l'inclusion sociale est la priorité en matière de construction de quartiers.

▪ **Mobilité intelligente :**

Développer des services de transport facilités à travers de meilleures informations, diffusées via des supports technologiques intelligents. D'une manière plus claire, la mobilité intelligente mise sur la technologie afin d'organiser les déplacements de façons plus efficace et durable et de concilier accessibilité et qualité de vie. Ex : Application informant en temps réel des places libres dans un quartier.

▪ **Environnement durable (Environnement intelligent) :**

Mettre l'accent sur la protection du milieu naturel et la réduction de la pollution à l'aide de régulateurs. Ex : Service d'auto partage de voitures électriques.

II.4. Forces de la ville intelligente :

La popularité de la ville intelligente repose sur l'idée qu'elle constituerait une réponse à plusieurs défis, que rencontrent les villes contemporaines. En ce sens, la ville intelligente apporterait son lot de promesses. Trois grandes promesses

a) Une ville efficace, rationalisée et leader :

La ville intelligente constituerait le rempart au chaos. La ville deviendrait plus efficace car rationalisée par l'alimentation en données qui permettent de contrôler la ville, la rendre plus contrôlable et surtout plus réactive.

b) Une ville plus stimulante où il fait bon vivre :

La ville intelligente vise, entre autres choses, l'amélioration de la qualité de vie, de la gouvernance, du développement de la politique urbaine, etc. Il est même envisagé que les nouvelles technologies de l'information « produisent » des citoyens plus « intelligents » qui, à leur tour, adopteront des comportements plus intelligents. « La

ville intelligente doit ‘attirer des gens intelligents’. Pour cela, il faut qu’elle propose une expérience rare pour la classe créative ou des citoyens des métropoles mondiales »

c) Une ville durable :

La smart city est d’abord et avant tout une ville numérique, mais elle permet aussi la fusion entre numérique et environnement, « censée éliminer progressivement les erreurs de gouvernance et les mauvais comportements humains, dus à l’insuffisance de données et de feedbacks sur les comportements, afin d’atteindre un objectif de réduction des consommations d’énergie et donc d’économie à bas carbone » La ville intelligente permettrait indirectement aux habitants d’adopter des comportements plus favorables à l’environnement grâce aux données et à faire passer les sociétés urbaines à une transition énergétique.

II.5. Limites de la ville intelligente :

La ville intelligente présente également un certain nombre de limites qu’il convient de détailler. Ces limites actuellement recensées au sein des écrits scientifiques sont plus nombreuses que les forces, même si elles peuvent être résumées également en trois grands points. D’une part, les défis auxquels la « ville intelligente » entend répondre, sont lacunaires. De fait, dans leurs réflexions sur ce que sont les villes du futur, on identifie dix défis qui touchent les villes :

1. Le changement climatique ;
2. La croissance de la population ;
3. La globalisation de l’économie et de ses risques ;
4. Les développements technologiques ;
5. Les changements géopolitiques ;
6. La mobilité des personnes ;
7. Le vieillissement de la population ;
8. Les tensions sociales et les inégalités ;
9. L’insécurité (énergie, nourriture, eau) ;
10. Les changements institutionnels et de gouvernance ;

Par conséquent, face à cette liste, la « ville intelligente » constitue une réponse imparfaite. D'autres limites sont liées à la définition même de ce type de ville.

II.6. Le rôle des nouvelles technologies de l'information et des communications et les secteurs impliqués :

Les TIC ou NTIC constituent des techniques utilisées dans les domaines de la transmission de l'information, de l'Internet et des télécommunications. En 1960, c'est le téléphone, la télévision et les calculateurs qui étaient considérés comme de « nouvelles » technologies. Vers les années 1990, les nouvelles technologies correspondaient plutôt à la téléphonie mobile, aux systèmes de géo positionnement (GPS), à la géomatique et à l'Internet. Certes, ces technologies ne sont pas si nouvelles, elles ont commencé à se développer il y a deux décennies. Ce qui est nouveau et concret à la ville intelligente c'est que ces technologies joueront dorénavant un rôle de premier plan au sein de la ville. Aujourd'hui, ces technologies nous permettent de manipuler de l'information, de créer des réseaux capables de stocker, gérer, convertir et transmettre une quantité phénoménale d'informations et de données en temps réel. L'information recueillie facilite ainsi la prise de décision pour l'utilisateur. Dans le cas du transport en commun, l'accès aux données en temps réel par l'intermédiaire de son téléphone intelligent peut guider l'utilisateur sur le trajet à emprunter et le mode de transport [18].

Dans les années 2000, le téléphone intelligent a fait son apparition sur les marchés internationaux. Ce téléphone cellulaire nous permet d'avoir accès à une multitude d'informations en temps réel grâce à la connexion Internet sans fil. Par exemple, certaines applications nous permettent de savoir quelles routes emprunter en fonction des conditions routières, du trafic et des accidents. Nos appareils mobiles sont également une source de production de données pour Google par exemple, qui peut mesurer le volume du trafic.

Centre de gestion de données, caméras, compteurs et capteurs intelligents, supports numériques et dispositifs d'information sont des NTIC dont plusieurs domaines de l'action publique bénéficient. En effet, gestion des bornes de recharge pour véhicules

électriques, gestion des péages urbains, stationnements intelligents, éclairage public intelligent, vidéosurveillance, gestion des déchets et traitement, réduction de la consommation d'énergie et d'eau, facilitation des déplacements urbains et mobilité urbaine intelligente sont des services et infrastructures qui pourront être assurés par les nouvelles technologies. (Commission de Régulation de l'Énergie, s.d.) Les technologies de l'information pourront faciliter l'accès à l'information autant pour les usagers que les données qui seront générées par les différents appareils mobiles.

Les nouvelles technologies de l'information et des communications sont un vecteur de changement lorsqu'on parle de ville Intelligente. En effet, les TIC peuvent jouer un rôle dans plusieurs des secteurs d'une ville. La figure 2.2 est un schéma de la ville intelligente présenté par IBM. Il représente les différents secteurs dans lesquels il est possible d'utiliser différentes technologies de l'information et des communications dans le but de devenir une ville intelligente. Ces secteurs sont les services publics tels que les transports, l'énergie, l'eau, le bâtiment, la santé, l'éducation, la sécurité publique et les services publics.

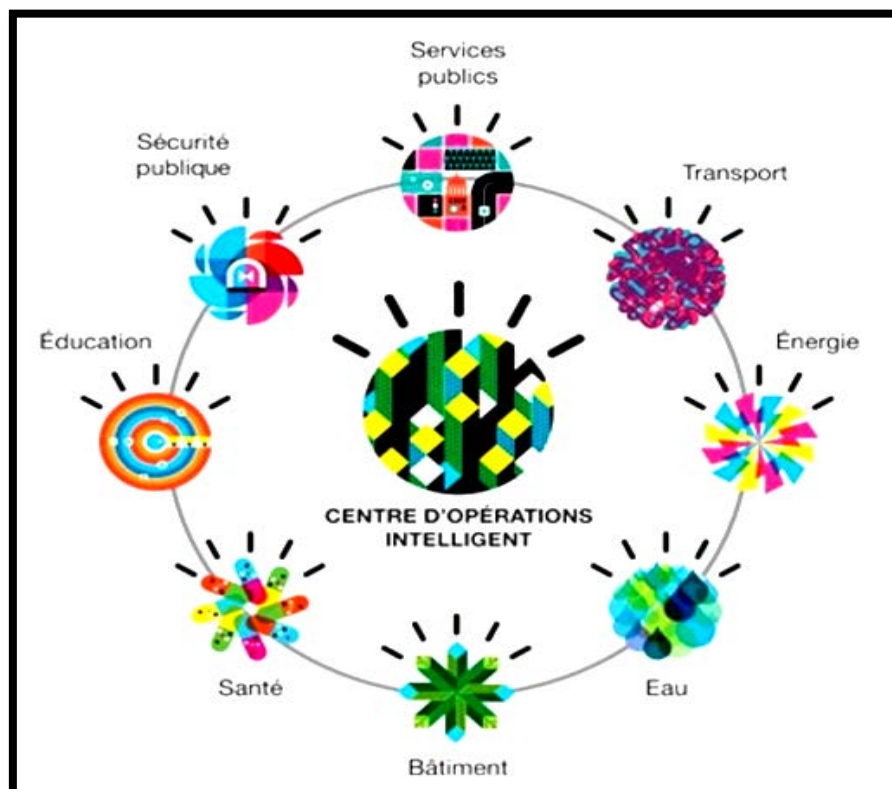


FIGURE II-3: DIFFERENTES SPHERES D'INTERVENTION D'UNE VILLE INTELLIGENTE [19]

II.7. Les facteurs clés de la ville intelligente :

Pour définir l'intelligence d'une ville, il faut commencer par identifier ses composants principaux [20].

- ✓ **Le territoire** : zone géographique sur laquelle la ville se localise.
- ✓ **L'infrastructure** : composants matériels et physiques d'une ville comme, par exemple, les installations de transports, les bâtiments, les rues, etc.
- ✓ **Les personnes** : ensemble de la population de la ville. Il comprend les habitants de la ville mais également les personnes qui y travaillent, les étudiants, les touristes, etc.
- ✓ **Le gouvernement** : administration locale qui gouverne la ville.

Pour rendre une ville davantage intelligente, les composants cités ci-dessus doivent prendre en considération trois facteurs pour se développer [21] :

- **L'efficacité** : elle représente la capacité d'une ville à fournir des services publics et privés efficaces aux différents membres de la société : citoyens (travailleurs, étudiants, personnes âgées, etc.), entreprises, ASBL, etc. Une ville n'est pas intelligente pour elle-même, elle le devient en créant de la valeur publique pour la population.
- **La prise en considération de l'environnement** : il s'agit de prendre en compte les effets produits par les grandes villes sur l'environnement des milieux urbains. La ville intelligente doit faire en sorte de minimiser les dégradations pour préserver la qualité de l'environnement. Les aspects importants auxquels une attention particulière doit être portée sont : la consommation d'énergie, la pollution de l'eau et de l'air et le trafic routier.
- **L'innovation** : l'utilisation de nouvelles technologies plus facilement accessibles permet d'améliorer la qualité des composants principaux de la ville intelligente. Elles permettent également d'offrir de meilleurs services et de réduire leurs impacts environnementaux. La technologie représente alors un élément clé dans les projets de villes intelligentes car elle permet d'améliorer la qualité de vie.

Il est donc important d'améliorer les composants principaux en les rendant davantage efficaces, écologiques et innovants [22].

II.8. Exemples de villes intelligentes :

Les « Smart Cities » sont des villes connectées qui placent l'innovation comme moteur de la ville durable. Ces cités ont pour objectif de concilier l'innovation technologique avec les enjeux économiques, sociaux et écologiques de la ville de demain. Leur leitmotiv est avant tout la qualité de vie : comment mieux vivre ensemble tout en respectant notre environnement. Alors, nous citons quelques exemples des villes sont les plus « smart » du monde :

A. Singapour :

Dans une ville où 85% des habitants possèdent un Smartphone, Singapour a lancé un programme Smart nation pour répondre aux enjeux de mobilité, de gestion de l'énergie et d'innovation verte. La ville accueille ainsi le CleanTechPark, qui regroupe des industries vertes et des bâtiments écologiques. En termes de mobilité, l'objectif est de réduire au maximum l'usage de la voiture : gratuité des transports sur certaines tranches horaires, modulation des tarifs des péages en fonction de la circulation, véhicules autonomes et partage de véhicules électriques. Pour sensibiliser les citoyens aux économies d'énergie, les factures d'électricité et de gaz mentionnent les consommations moyennes du quartier afin de permettre de « se situer » par rapport aux autres. Une des grandes préoccupations de la smart city est la protection des données, sachant que quasiment tous ses services gouvernementaux sont accessibles en ligne avec les données enregistrées par le réseau de capteurs.

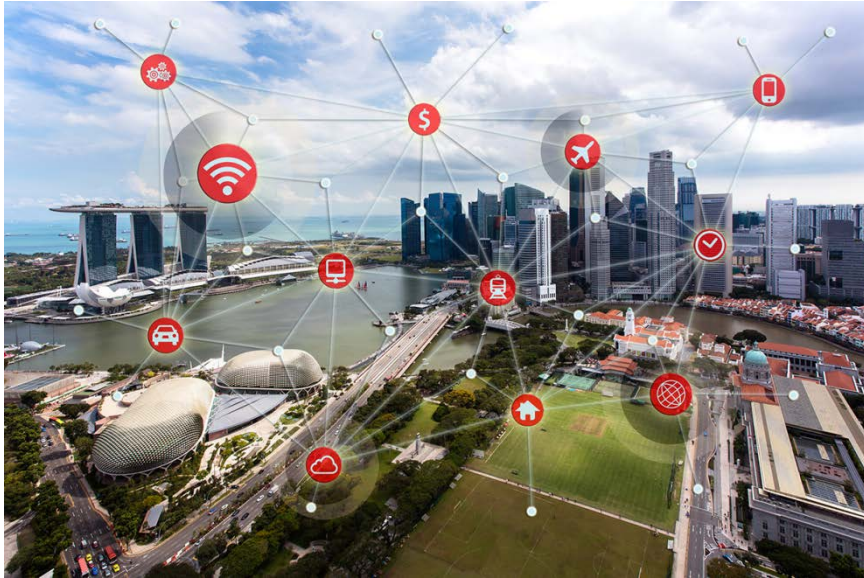


FIGURE II-4: VILLE INTELLIGENTE DE SINGAPOUR

B. Barcelone :

Avec une infrastructure de pointe, Barcelone est considérée comme l'une des plus grandes « smart city » au monde. En ce qui concerne les transports, elle est particulièrement active. Après avoir analysé les trajets effectués quotidiennement par les habitants, la commune a décidé de repenser entièrement le système de bus. Il est désormais possible d'effectuer 95% des trajets avec une simple correspondance, voire aucune. Les arrêts de bus comprennent des écrans interactifs fonctionnant à l'énergie solaire, et alertent les usagers du prochain passage de bus. Aussi, Barcelone a développé une application sur Smartphone permettant d'aider les conducteurs à repérer les parkings alentours et d'un système de partage de vélos. Pour ce qui est du tri, la ville est dotée d'un système automatisé de collecte pneumatique des déchets. Les ordures sont collectées par le biais de tuyaux souterrains, et non plus par camions. Enfin, la capitale catalane utilise l'énergie solaire pour chauffer l'eau depuis près de dix ans déjà.

Barcelone s'est aussi distinguée par sa gestion de l'eau. Victime d'une période de sécheresse il y a quelques années, elle a depuis développé un système de capteurs installé sous terre sur les voies d'irrigation de la ville. Ces données couplées aux prévisions météorologiques permettent d'anticiper les pénuries et notamment d'interrompre l'arrosage automatique municipal.

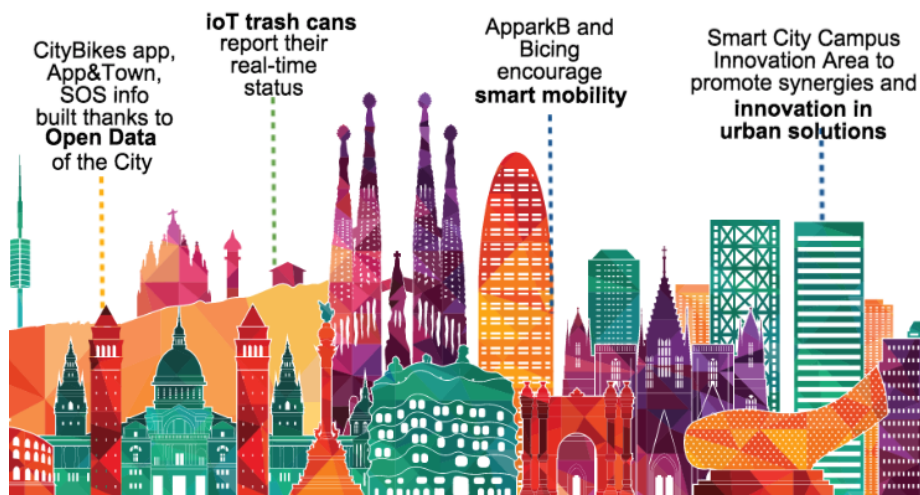


FIGURE II-5 : VILLE INTELLIGENTE BARCELONE

C. Masdar (Émirats Arabes Unis) :

Est l'une des villes durables et intelligentes les plus connues, construites en respectant le modèle de l'éco-ville. Non seulement le développement durable semble être un enjeu majeur pour cette ville mais les préoccupations économiques sont également fortement prises en considération. Cependant, cette ville a connu beaucoup de critiques lui reprochant d'avoir une approche trop axée sur les entreprises. Les demandes sociales des populations locales ne représentent pas toujours une préoccupation essentielle car généralement les aspects plus formels de la ville reçoivent plus d'attention. Cela semble être une des limites aux nouvelles villes dites intelligentes [23].



D. En Algérie, le projet de la ville intelligente Sidi Abdellah (ALGER) :

La Ville Nouvelle de Sidi Abdellah est le nouveau pôle urbain attractif d'Alger, son rôle majeur est d'être un lieu de compétitivité, d'innovation et d'excellence, elle assurera le rééquilibrage de la croissance métropolitaine algéroise.

C'est un lieu dédié aux technologies avancées, à l'information, à la communication, à la formation et à la recherche scientifique.

Sans contraintes majeures, le site de Sidi Abdellah est bien situé par rapport aux infrastructures de transport. Le périmètre de la ville nouvelle s'étend sur une superficie de 7.000 hectares dont 4.000 réservés pour le périmètre de protection et 3.000 urbanisables. Elle abritera à terme une population de 280.000 habitants et verra la création de 85.000 emplois. On prévoit d'y réaliser un très grand programme d'habitat (on parle de 57.000 logements) avec tous leurs équipements.



FIGURE II-7 : NOUVELLE VILLE SIDI ABDELAH

II.9. Conclusion :

Enfin on peut dire que le concept de villes intelligentes a retenu beaucoup l'attention ces derniers temps et il continuera très probablement à le faire à l'avenir. Les villes publient des plans intelligents, les conférences connexes sont à la mode et de plus en plus de livres sont écrits sur le sujet.

Les technologies intelligentes peuvent apporter des solutions aux villes en les aidant à économiser de l'argent, à réduire les émissions de carbone et à gérer les flux de trafic. La ville intelligente implique un grand nombre de parties prenantes (autorités locales, citoyens, entreprises technologiques et universitaires) ayant chacune leur propre vision de ce que devrait être une ville intelligente ; l'essentiel du débat s'embourbe à essayer de comprendre ce que signifie « intelligent » plutôt que de se concentrer sur la façon dont il peut aider les villes à atteindre leurs objectifs. De plus, le marché des technologies intelligentes étant relativement nouveau, il a besoin de nouveaux modèles commerciaux et de nouvelles méthodes de travail qui doivent encore être développés et mis en œuvre.

Dans le prochain chapitre nous allons parler de la gestion de l'énergie dans les milieux urbains.

Chapitre III. Gestion de l'énergie dans les milieux urbains

III.1. Introduction :

L'énergie est une grandeur physique elle est partout autour de nous sous une multitude de formes, elle permet de produire des actions comme effectuer un mouvement, chauffer ou éclairer un objet. Cette énergie est mesurée avec une unité particulière que l'on appelle le joule.

III.2. Types d'énergie :

Dans le cadre de la transition énergétique, il est cependant plus simple de distinguer deux grands types d'énergies : les sources d'énergie primaires, et les énergies secondaires. Ces énergies peuvent ensuite être de nouveau distinguées entre énergies fossiles et énergies renouvelables.

a) Energies primaires :

Les sources d'énergie primaires sont celles pour lesquelles la consommation peut être mise directement au service des hommes. C'est le cas, par exemple, du charbon utilisé pour sa combustion, ou du gaz utilisé pour un chauffage central.

Les énergies dites secondaires ont en revanche un mode de consommation intermédiaire : elles sont obtenues grâce à la transformation d'énergie et participent à des processus reproductibles. L'énergie secondaire est donc plus simple à stocker, à transporter, et à utiliser.

▪ Les sources d'énergie primaire

Les principales sources d'énergie primaire directement utilisables pour la production d'énergie sont :

- L'uranium
- Le charbon
- Les hydrocarbures
- Le pétrole
- Le gaz naturel
- La biomasse

Certaines sources d'énergie primaire ne peuvent être utilisées dans leur état initial, et doivent donc être exploitées afin d'être transformées en source d'énergie secondaire.

C'est principalement le cas :

- Des cours d'eau et chutes d'eau ;
- De la puissance des courants marins ;
- Des rayons du soleil ;
- De la force du vent ;
- De la géothermie.

b) Energies secondaire

L'énergie secondaire est obtenue grâce à la transformation d'énergie.

On distingue différentes sources d'énergie secondaire :

- L'énergie nucléaire ;
- L'énergie hydroélectrique ;
- L'énergie produite par centrales thermiques à flamme ;
- L'énergie éolienne ;
- L'énergie géothermique ;
- L'énergie solaire photovoltaïque ;
- L'énergie solaire thermique à concentration ;
- La cogénération.

L'objectif de la transition énergétique consiste à valoriser les énergies secondaires ayant le bilan écologique le plus favorable. Dans le cadre de ces efforts, on distingue donc les énergies fossiles des énergies renouvelables.

III.3. Énergies fossiles ou renouvelables

a) Les énergies fossiles

Les énergies fossiles désignent toute énergie produite par la combustion du charbon, du pétrole ou du gaz naturel.

Les combustibles sont produits à partir de matières organiques présentes dans le sol depuis des millions d'années (c'est la raison pour laquelle on parle d'énergies « fossiles »). Ces énergies sont non renouvelables : une fois les matières premières

extraites, elles ne peuvent être reconstituées qu'à une échelle de temps extrêmement longue.

- **Le nucléaire, un cas particulier**

L'énergie nucléaire est produite à partir d'une matière première, l'uranium.

À proprement parler, il s'agit donc d'une énergie fossile. Elle est cependant considérée comme une énergie plus « propre » que les autres énergies fossiles, dans la mesure où sa production n'émet pas de dioxyde de carbone. Elle suscite néanmoins de vifs débats autour de la sécurité des installations et du stockage des déchets radioactifs, qui demeurent dangereux pour les espèces vivantes durant de très longues périodes.

La pollution liée à l'extraction de l'uranium fait également polémique, car les poussières et particules fines générées pendant le processus sont souvent rejetées à l'air libre, pénalisant la sécurité sanitaire des populations environnantes.

- b) Les énergies renouvelables :**

Parmi elles, il y a :

- **L'énergie hydraulique :**

Elle est coûteuse en investissements, économique en fonctionnement. Utilisée depuis longtemps pour produire l'électricité si l'on dispose d'une chute d'eau à une hauteur et un débit suffisant.

- **L'énergie éolienne :**

Les éoliennes sont de type : multipales (pompage de l'eau) et bi et tripales pour les aérogénérateurs. La puissance est proportionnelle au cube de la vitesse du vent. Dans le cas d'une éolienne de 750 kW, on a : 750 kW pour un vent de 15 m/s et 28 kW pour un vent de 5 m/s. Il y a aussi les Eoliens off-shore (vent plus fort et plus régulier mais corrosion).

- **La géothermie :**

Selon la température de l'eau, celle-ci est utilisée pour le chauffage (basse température) ou par la production de l'électricité (haute température).

- **L'énergie de la biomasse :**

L'énergie solaire est diffuse, intermittente. La plante par contre permet de stocker cette énergie et consomme du CO₂. Cependant, les déchets d'élevage, effluents industriels, boues des stations d'épuration, ordures ménagères, peuvent aussi devenir source d'énergie selon différentes transformations thermo-chimiques pour produire du biogaz, méthanol, alcool...

- **L'énergie solaire :**

Ses deux conversions sont du type :

- **Solaire photovoltaïque :** Une énergie bien adaptée à l'habitat dispersé, pouvant servir pour l'éclairage, le pompage, mais aussi pour la transmission hertzienne, le balisage etc. Le photovoltaïque est encore cher pour le connecté au réseau, pour des raisons environnementales, il s'applique de plus en plus en Allemagne, Japon... (où des milliers de toits solaires sont installés). Le solaire photovoltaïque est rentable en autonomie comparé à un groupe électrogène.
- **Solaire thermique :** Actif et passif, il consiste à installer des capteurs solaires, qui, par circulation d'eau ou d'air permettent de collecter la chaleur d'origine solaire et de la stocker. Un capteur solaire se compose d'un absorbeur, d'un isolant thermique, d'un vitrage et d'un échangeur.

III.4. La gestion de l'Énergie :

Le concept de gestion d'énergie vise à réduire la consommation énergétique. Elle est liée à la volonté de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de maîtriser le coût des énergies en augmentation, en raison de l'épuisement progressif des ressources fossiles (pétrole, gaz...). En raison de l'enjeu majeur que représente la gestion de l'énergie pour les politiques publiques [24] et des enjeux économiques pour le maître d'ouvrage liés à la maîtrise des prix des énergies.

III.5. Gestion et planification de l'énergie dans les villes intelligentes

Les besoins énergétiques des villes sont complexes et abondants. Par conséquent, les villes modernes devraient améliorer les systèmes actuels de gestion de l'énergie.

L'intermittence des sources d'énergie renouvelables, la demande croissante et la nécessité d'un transport efficace sur le plan énergétique représentent, entre autres, d'importants défis énergétiques qu'il vaut mieux aborder dans leur ensemble plutôt que séparément, comme c'est généralement le cas.

Des modèles de simulation ont été développés pour aider les parties prenantes à comprendre la dynamique urbaine et évaluer l'impact des alternatives en matière de politique énergétique. Un modèle de ville intelligente qui inclut toutes les activités liées à l'énergie tout en maintenant la taille et la complexité du modèle gérable est hautement souhaitable afin de répondre avec succès à l'augmentation des besoins énergétiques des villes actuelles et futures.

Il existe cinq activités principales liées à l'énergie dans les smart cities qui ont été appelés zones d'intervention. Il s'agit de : la production, le stockage, les infrastructures, les équipements et les transports (mobilité).

Tous ces domaines sont liés entre eux mais contribuent au système énergétique de différentes manières : la production fournit de l'énergie, tandis que le stockage aide à garantir sa disponibilité ; l'infrastructure implique la distribution de l'énergie et les interfaces avec les utilisateurs ; les installations et les transports sont les principaux consommateurs finaux d'énergie, car ils en ont besoin pour fonctionner.

La mise en œuvre des systèmes est soutenue par trois couches principales : Le renseignement (contrôle/gestion), la communication et le matériel (éléments et dispositifs physiques). On parle alors de solution énergétique multidisciplinaire.

La Figure III-1 illustre les zones d'intervention énergétique dans les villes intelligentes.

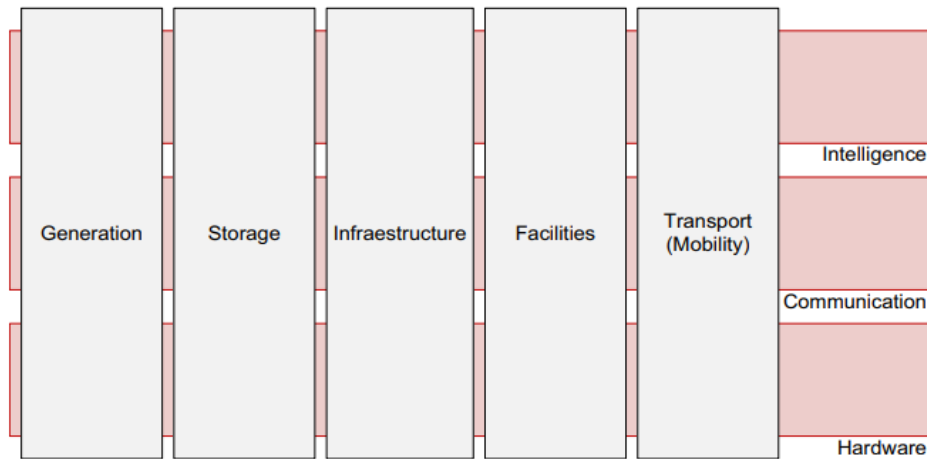


FIGURE III-1 : CLASSIFICATION DES ZONES D'INTERVENTION ENERGETIQUE DANS LA VILLE INTELLIGENTE.

III.6. Modèles des systèmes énergétiques dans un contexte de ville intelligente :

La modélisation d'un système énergétique urbain complet est une tâche complexe. La Figure III-2 présente un schéma général d'un modèle de système énergétique dans les cités intelligentes. Ce modèle comprend les éléments de tous les domaines d'intervention. Il contient les principaux intrants requis (à gauche) et extrants attendus (à droite).

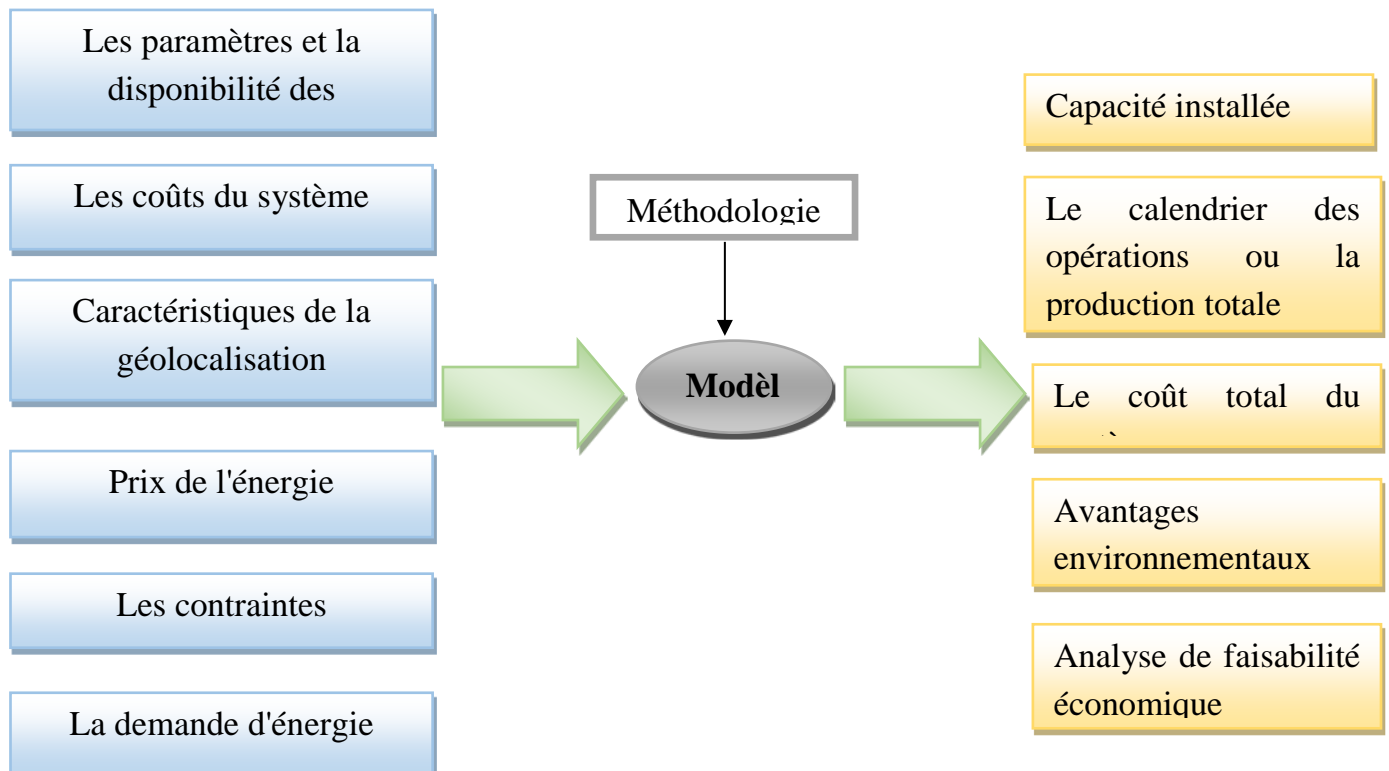


FIGURE III-2 : MODELE GENERAL DE CONCEPTION DU SYSTEME ENERGETIQUE.

III.7. Approche de modélisation

Afin de modéliser la ville intelligente, il est nécessaire d'identifier les composants et les paramètres pertinents de la ville qui permettront sa caractérisation énergétique précise. Dans cette mesure, une interprétation de la forme d'une ville consiste à la considérer comme un système de sous-systèmes (Figure III-3). De nombreux systèmes de composants tels que les réseaux d'approvisionnement, les réseaux de transport se combinent pour former un système beaucoup plus vaste à l'échelle de la ville. En termes de performance énergétique d'une ville intelligente, les systèmes de composants d'intérêt sont les composants de l'offre et de la demande, les réseaux énergétiques, les sites de stockage d'énergie, les réseaux de transport électrique et les aspects socioéconomiques qui régissent les comportements liés à l'énergie

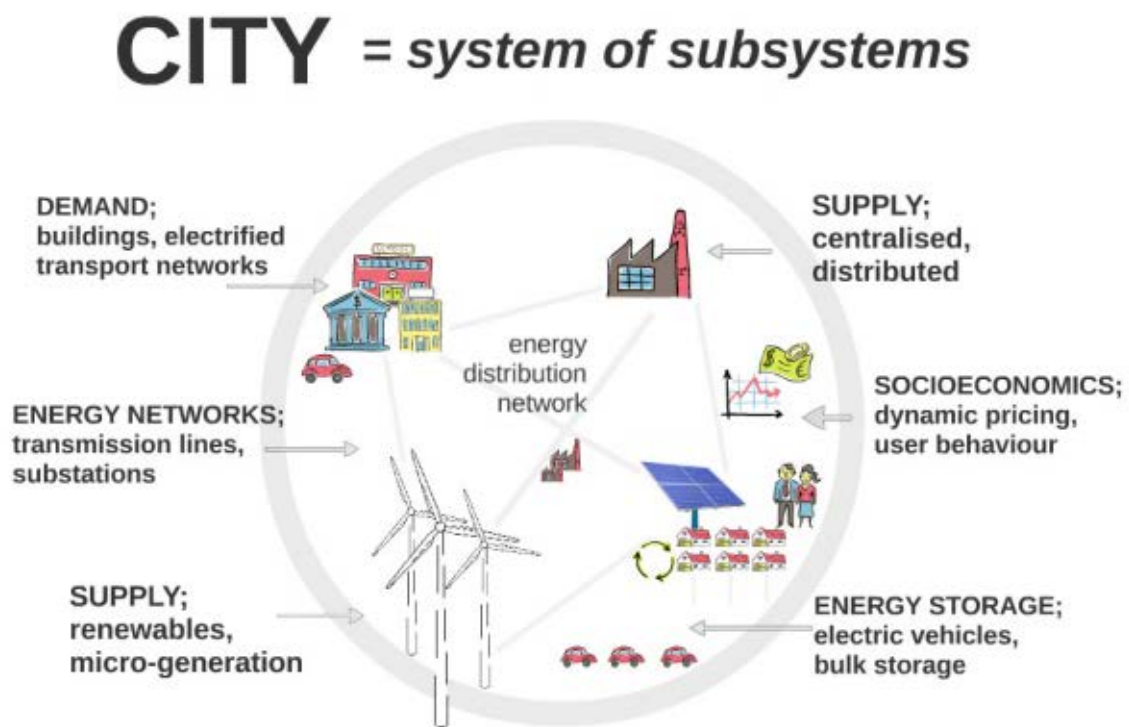


FIGURE III-3 : MODELISATION ENERGETIQUE D'UNE SMART CITY EN DECOMPOSANT LA VILLE EN SOUS-SYSTEMES

III.8. Utilisation des SIG 3D pour la planification énergétique des villes intelligentes

La disponibilité croissante des données issues de l'IDO (Internet des objets) et des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans les villes, permet une meilleure gestion de la ville en matière d'énergie.

Ainsi, des outils et des modèles innovants pour évaluer et analyser ces données ouvrent la voie vers une utilisation plus efficace de l'énergie, afin d'exploiter pleinement le potentiel de chaque ville

Les SIG 3D sont de outils de modélisation puissant qui permettent une meilleure évaluation de la dimension énergétique d'une ville (de l'offre à la distribution à la demande) dans une approche intégrée qui permet une meilleure compréhension de l'environnement urbain global pour une planification urbaine améliorée et cohérente. Le SIG 3D peut intervenir dans l'analyse énergétique des :

- **Immeubles résidentiels :**

L'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) et de la modélisation 3D pour concevoir des bâtiments permet de tirer profit de la configuration du terrain, l'orientation vers le soleil et les effets du vent parmi d'autres choses.

Les données simulées sur la demande de services énergétiques sont entrées dans la base de données SIG de la ville, en prenant l'emplacement de chaque typologie dans chaque quartier, afin de fournir des représentations spatiales de la demande totale d'énergie des bâtiments résidentiels, d'identifier les régions présentant un intérêt particulier (par exemple, l'expansion du réseau de chauffage urbain ; les blocs de villes à rénover) et de visualiser de manière globale le potentiel d'économies d'énergie alternatives.

Les données simulées sur la demande de services énergétiques sont entrées dans la base de données SIG de la ville, en prenant l'emplacement de chaque typologie dans chaque quartier, afin de fournir des représentations spatiales de la demande totale d'énergie des bâtiments résidentiels, d'identifier les régions présentant un intérêt

particulier (par exemple, l'expansion du réseau de chauffage urbain ; les blocs de villes à rénover) et de visualiser le potentiel d'économies d'énergie alternatives de manière globale.

La consommation énergétique et les défis propres à la gestion de l'énergie d'un bâtiment diffèrent habituellement en fonction de certaines caractéristiques :

■ *l'usage* : immeuble de bureaux, centre commercial, commerce de détail, immeuble industriel (atelier et entrepôt), immeuble résidentiel à logements multiples, établissement de santé ;

■ *le type de propriétaire* : propriétaire occupant, propriétaire investisseur ;

■ *L'âge du bâtiment* : bâtiment neuf, bâtiment existant, ancien ou rénové en profondeur sur le plan énergétique.

Le SIG 3D prend en charge tous ces paramètres pour une meilleure simulation de la consommation énergétique des bâtiments.

▪ **Autres secteurs consommateurs d'énergie**

Les SIG 3D permettent aussi d'étendre l'analyse aux différents centres de demande d'énergie en intégrant d'autres services et technologies urbains pertinents pour le bon fonctionnement des infrastructures urbaines. Il s'agit, d'analyser :

- Les services publics (eau, eaux usées, déchets et l'éclairage public)
- Les bâtiments de services (hôpitaux, centres commerciaux, écoles, bâtiments de l'administration publique).

III.9. Conclusion

Dns ce chapitre nous avons exposé le rôle des SIG 3D dans la gestion de l'énergie dans les villes intelligentes. Dans le prochain chapitre nous présenterons notre méthodologie.

Chapitre IV. Méthodologie

IV.1. Introduction

La réalisation d'un SIG 3D pour la gestion de l'énergie dans une smart city nécessite plusieurs étapes. Dans ce chapitre nous allons expliquer les différentes méthodes et démarches que nous avons suivi pour la mise en œuvre de notre SIG ainsi que pour la réalisation des différentes analyses 3D.

IV.2. Problématique

Pour une gestion et une optimisation de l'énergie, les smart cities utilisent les nouvelles technologies de l'information et de communication dans ces différents secteurs.

Le concept de SIG est lié de très près aux progrès des technologies d'information et de communication. Les SIG constituent des outils très adéquats pour l'exploitation des données spatiales. En effet, il propose des fonctionnalités diverses qui se focalisent principalement autour de la représentation, la gestion et l'interrogation des phénomènes géolocalisés dans l'espace en temps réelle.

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 SIG3D est un outil puissant pour la gestion des phénomènes spatiaux, il offre des techniques et des fonctionnalités très avancées pour les espaces 3D.

Le SIG 3D permet 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 publiques.

Les SIG 3D présentent une scène est sa capacité à incorporer des informations verticales : l'altitude de surface des montagnes, le paysage environnant, les formes des bâtiments, les trajectoires de vol des avions de ligne. C'est la puissance de l'axe des Z.

Notre objectif, est de réaliser un SIG 3D pour modéliser une smart city. Nous avons choisi le POS d'El Hchem comme zone d'étude. Cette modélisation 3D nous permettra de simuler la consommation d'énergie des bâtiments et des institutions publiques. Pour cela nous suivrons la démarche méthodologique décrite dans ce chapitre.

IV.3. La description de la zone d'étude

Dans le cadre de l'extension de la ville de Mostaganem vers le Nord-Est, qui a bénéficié de projets de construction récents, le projet de la nouvelle ville dans la zone de EL H'chem est un énorme projet urbain qui a besoin d'outils puissants pour sa gestion.

Le POS s'étend sur une superficie de 170 ha. Il se trouve dans le prolongement du plateau d'El H'Chem, contenu entre les plaines littorales de la zone de Kharouba au Nord et la commune de Sayada au Sud.

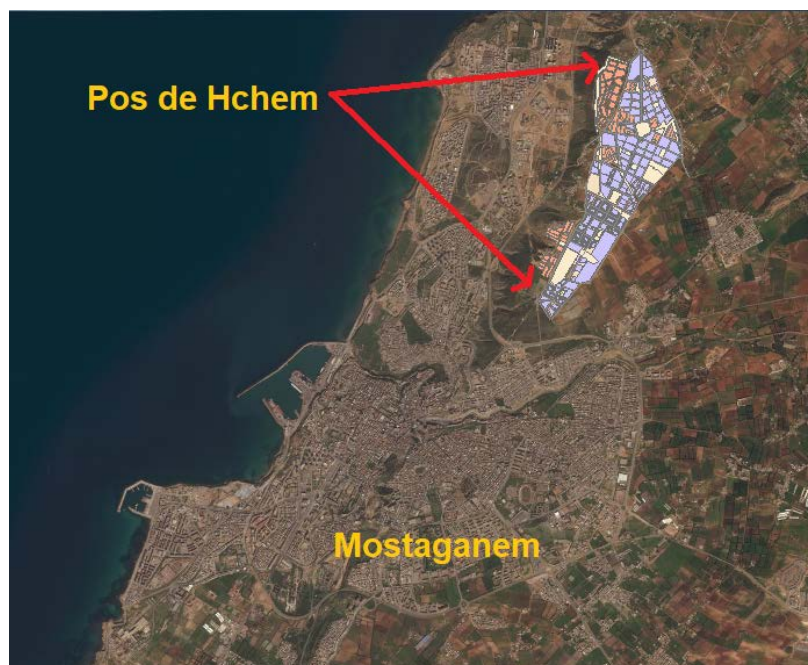


FIGURE IV-1 : PLAN DE SITUATION DU P.O.S EL H'CHEM

Pour une meilleure lecture de l'espace urbain, le périmètre sera divisé en trois (03) zones distinctes à savoir :

- **La zone I :**

Située au Sud du périmètre elle est composée d’habitat et d’équipements de base (écoles, centre de santé, jardin d’enfant, marché couvert...etc.), en plus de quelques équipements structurants afin d’assurer l’autonomie de ce quartier (parc d’attraction, centre commerciale, gare routière, antenne APC, salle de sport...etc

Zone	Destination	Superficie (ha)	Nombre	Hauteur (max)
I	Habitat collectif	16,5363	2149	R+9
	Equipement basique	4,2420	9	R+3
	Equipement structurant	13,5450	10	R+3
	Espace vert	2,2169	04	-
	Olivier	8,5081	-	-
	voiries	13,6556	-	-
Total	58,7039			

FIGURE IV-2 : REPRESENTATION DE COMPOSITION URBAINE DE LA ZONE 1.

- **La zone II :**

Située au centre du périmètre d’étude. Cette Zone regroupe un pôle administratif, culturelles et cultuel doté d’équipements de qualité et de services élevés : (centre islamique, centre culturelle, banque, tribunal, assurances, siège APC, siège PTT,...etc), et de l’habitat individuelle, et collectif.

Zone	Destination	Superficie (ha)	Nombre	Hauteur (max)
II	Habitat collectif	19,1110	2485	R+9
	Habitat individuel	2,5172	62	R+2
	Equipement basique	3,7319	6	R+3
	Equipement structurant	11,1716	17	R+3

	Espace vert	6,0819	-	-
	Olivier + verger	4,3306	-	-
	voiries	13,9841	-	-
Total	60,9283			

FIGURE IV-3 : LA REPRESENTATION DE COMPOSITION URBAINE DE LA ZONE 2.

- **La zone III** : Située au Nord du périmètre. Cette partie regroupe une mixité urbaine traduite par une petite centralité autour de la quel s'articule :

Zone	Destination	Superficie (ha)	Nombre	Hauteur (max)
III	Habitat collectif	7,3955	950	R+6
	Habitat semi collectif	2,6331	395	R+2
	Habitat individuel	10,9686	244	R+2
	Equipement basique	2,3618	6	R+3
	Equipement structurant	11,0538	15	R+3
	Espace vert	3,2350	-	-
	Voiries	13,3508	-	-
Totale	50,9986			

FIGURE IV-4 : LA REPRESENTATION DE COMPOSITION URBAINE DE LA ZONE 3.

IV.4. Définition des données :

Les données utilisées dans notre travail sont de différents types :

➤ Les données Raster :

- Un modèle numérique de terrain MNT SRTM d'une résolution de 30 m.
- Plusieurs images satellites fournies par Esri d'une résolution entre 150 m et 1,9 cm.

➤ **Données vecteur :**

- Un plan numérique de la région de Hchem. Créé à partir de données autocad et importées au format SIG sous ArcGIS. Les données que contient la base de données sont les couches thématiques :
 - POS
 - Zone
 - Ilot
 - Parcelle
 - Bati
 - Equipement
 - Réseau AEP
 - Réseau Assainissement
 - Réseau Voirie
 - Mobilier intelligent
 - Eclairage publique

➤ **Données attributaires**

- Chaque couche thématique possède plusieurs données attributaires. Les données les plus importantes sont la hauteur des bâtiments, le type de bâtiment, la consommation moyenne des bâtiments.

IV.5. Choix des outils de travail

Afin de réaliser notre travail, le choix des outils a été une étape très importante. Nous avons utilisé deux environnements de travail :

- **ArcGIS Desktop** :est un logiciel qui dispose de toutes les fonctionnalités nécessaires à la réalisation de notre projet. Il est constitué de 4 environnements : ArcCatalog pour l'organisation des données géographiques. ArcMap pour la création des cartes et l'analyse spatiale, ArcScene et ArcGlobe pour la visualisation 3d.
- **ArcGIS Pro** : Est un nouvel environnement proposé par Esri pour la création de carte. Il regroupe les fonctionnalités de base d'ArcGis desktop. Il permet de représenter les données en 2D et 3D.

IV.6. Phases de réalisation du projet

Plusieurs étapes sont nécessaires pour la réalisation du SIG. Tout d'abord nous avons collecté et préparé els données. Ensuite nous avons construit notre SIG 2D, puis nous

avons réalisé le SIG 3D. Enfin, nous avons réalisé les analyses spatiales qui permettent d'estimer la consommation d'électricité des bâtiments.

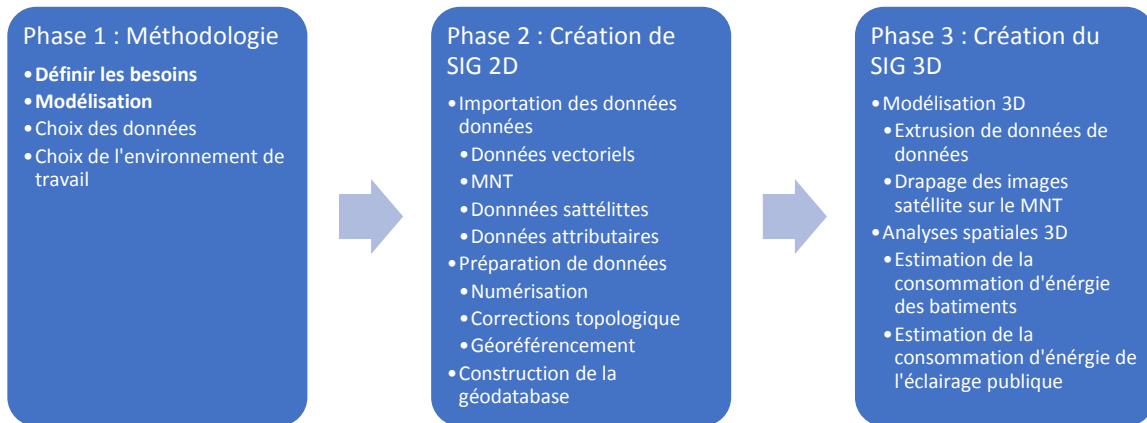


FIGURE IV-5 : ORGANIGRAMME DES PHASES DE LA REALISATION.

IV.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé notre méthodologie, dans la partie suivante nous allons présenter les résultats de notre travail qui consiste à réaliser un SIG 3D pour la gestion de l'énergie dans une ville intelligente.

Chapitre V. Expérimentation

V.1. Introduction

Plusieurs étapes sont nécessaires pour la réalisation du SIG. Notre objectif dans ce chapitre est de construire un SIG 3D pour la gestion de l'énergie dans une smart city.

Nous allons d'abord réaliser un SIG 2D qui contiendra l'ensemble des informations nécessaires à la modélisation d'une smart city pour cela nous utilisons ArcGIS Desktop 10.8. Ensuite, nous intégreront ces informations sur un environnement ArcGIS pro pour la construction du SIG 3D. Une fois ces informations introduites, nous procéderons à la modélisation 3D des différentes couches thématiques, pour enfin réaliser des analyses spatiales 3D qui permettront d'estimer la consommation énergétique des bâtiments et des différentes institutions publiques.

V.2. Réalisation du SIG 2D

Pour la réalisation du SIG 2D, Nous avons commencé par la création des couches thématiques qui ont permis de produire un plan de la région de H'chem, et créer une base de données répertoriant l'intégralité des informations nécessaires à la production d'un prototype SIGG 3D.

A. Intégration des données

Pour construire notre SIG 2D, nous devons intégrer l'ensemble des données dans un environnement SIG. Pour cela nous utilisons ArcGIS Desktop.

▪ Importation des données

Nous avons d'abord importé dans ArcGIS un plan Autocad du POS d'El Hchem. Ce plan contient un ensemble de couches d'information sur les bâtiments, les parcelles, les ilots, la délimitation du POS, les quartiers et les réseaux de distribution de l'eau de l'électricité, du gaz ainsi que d'autres informations. De plus, nous avons intégré les modèles numériques de terrain pour la modélisation du relief et les images satellitales de la région d'étude.

▪ Préparation des données

▪ Le traitement des données

Ces couches d'information ont ensuite été converties en couche thématiques SIG. Nous avons référencé ces couches, corrigé les erreurs de numérisation, de calage, et de topologie.

- **La numérisation :**

Nous avons ensuite ajouté de nouvelles couches d'information qui n'existaient pas dans le plan Autocad et qui étaient nécessaire à la modélisation d'une smart city, à l'instar des capteurs intelligents, du réseau d'éclairage publique, des stations d'alimentation d'électricité et de stockage ainsi que d'autres informations.



FIGURE V-1 : IMAGES STELLITE DE LA ZONE D'EL H'CHEM

- **La construction de la base de données géographiques**

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

La figure suivante illustre les couches spatiales sous ArcGIS Desktop.

FIGURE V-2: COUCHES THEMATIQUES SOUS ARCGIS

Nous avons ensuite, ajouter les informations attributaires, nécessaires aux analyses spatiales, telle que les nombres d'étages, la hauteur des bâtiments et la superficie des appartements. La figure suivante montre un extrait de la table bâtiments.

OBJECTID *	Shape *	NOM	type	Shape Length	Shape Area	Nb Etages	Hauteur
1	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	205,836813	2310,731633	3	9
2	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	673,445783	8190,472768	3	9
3	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	393,896666	9339,900183	3	9
4	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	614,095919	13419,689375	3	9
5	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	287,660654	2888,674121	3	9
6	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	361,424131	4309,943771	3	9
7	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	119,928354	671,647393	3	9
8	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	506,033333	7804,965474	3	9
9	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	310,330932	4518,387662	3	9
10	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	284,771158	1905,099434	3	9
11	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	555,37352	9091,713879	3	9
12	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	220,880348	2827,662346	3	9
13	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	256,016388	3296,866527	3	9
14	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	167,175182	1439,540762	3	9
15	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	266,588261	3940,586143	3	9
16	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	229,741728	3222,053284	3	9
17	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	610,999384	8773,603925	3	9
18	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	513,697504	7573,819129	3	9
19	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	337,634847	6544,900157	3	9
20	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	264,461735	2895,14938	3	9
21	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	323,983197	4379,024816	3	9
22	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	311,678962	4950,071906	3	9
23	Polygon ZM	Bati_semi_collectif	raisidentiel	339,644269	6103,450999	3	9
24	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	103,352962	586,736838	9	27
25	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	100,43801	556,997456	9	27
26	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	100,295564	556,814257	9	27
27	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	101,996111	495,192156	9	27
28	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	95,698294	459,926822	9	27
29	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	98,668005	466,647247	9	27
30	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	96,003291	462,707706	9	27
31	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	100,47594	467,755397	9	27
32	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	97,081167	449,953695	9	27
33	Polygon ZM	Bati_R+9	raisidentiel	97,179677	465,97814	9	27

FIGURE V-3 : EXTRAIT DE LA TABLE BATIMENTS

Toutes les informations importées ou numérisées ont été organisées dans la base de données par domaine thématique. La figure suivante illustre l'organisation des données dans la base de données géographiques.

FIGURE V-4 : ORGANISATION DES COUCHES THEMATIQUES SOUS ARCGIS DESKTOP

V.3. Réalisation du SIG 3D

A. Modélisation 3D

Nous avons réalisé la modélisation de notre SIG 3D sous le logiciel ArcGIS. Nous avons d'abord intégré les données à partir de ArcGis Desktop puis nous avons procédé à l'extrusion des couches thématiques qui interviennent dans l'analyse spatiale 3D à partir d'un champ d'altitude que nous avons utilisé pour calculer la hauteur de chaque bâtiment et chaque institution publique. Ces couches d'informations sont superposées sur le MNT qui représente le relief de la région d'étude.



FIGURE V-5 : BASE DE DONNEES GEOGRAPHIQUE 3D AVEC ARCGIS PRO

B. Analyses spatiales 3D

Notre objectif est d'estimer la demande en énergie annuelle de chaque bâtiment et de chaque quartier de la zone d'étude.

Nous avons analysé les la consommation des bâtiments résidentiels et des bâtiments publics.

▪ Estimation de la demande en énergie des bâtiments

Notre projet contient cinq types de bâtiments, les quatre premiers types se situent à l'intérieur du nouveau POS, alors que le cinquième type représente les anciens bâtiments se situant à proximité du POS :

1. Bâtiment R+5
2. Bâtiment R+9
3. Bâtiment semi collectif
4. Habitat individuel réservé
5. Habitat individuel WIAM

Selon l'Agence France estricité [25] la consommation moyenne par personne et par an est de 1100 Kwh, nous avons considéré que chaque appartement contient 4 personnes et nous avons ensuite estimé la consommation annuelle de chaque appartement puis généralisé cette estimation à chaque bâtiment.

Nous avons d'abord réalisé une analyse spatiale en 3D qui nous montre la consommation annuelle par bâtiment. Les résultats de cette analyse sont explicités dans la Figure suivante :



FIGURE V-6: DEMANDE EN ENERGIE PAR TYPE DE BATIMENT

Le graphique suivant nous donne une idée sur la répartition de la consommation par type de bâtiment. Sans surprise se sont les tours qui consomment le plus d'énergie ensuite viens les habitats résidentiels qui se situent hors du POS.

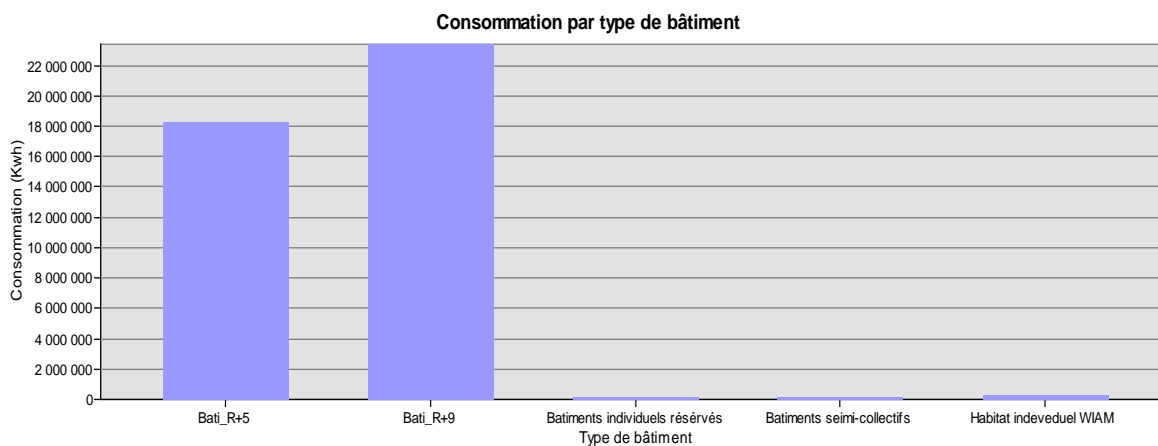


FIGURE V-7: ESTIMATION DE LA DEMANDE EN ENERGIE PAR TYPE DE BATIMENT

▪ **Estimation de la demande en énergie des bâtiments publics**

Nous avons ensuite estimé la consommation d'énergie pour les bâtiments publics. La figure suivante, nous donne la répartition spatiale des différents bâtiments publics par type3



Figure V-8: Répartition spatiale des bâtiments publics

L'estimation de la consommation de l'énergie dans les bâtiments publics est illustrée sur la figure suivante.

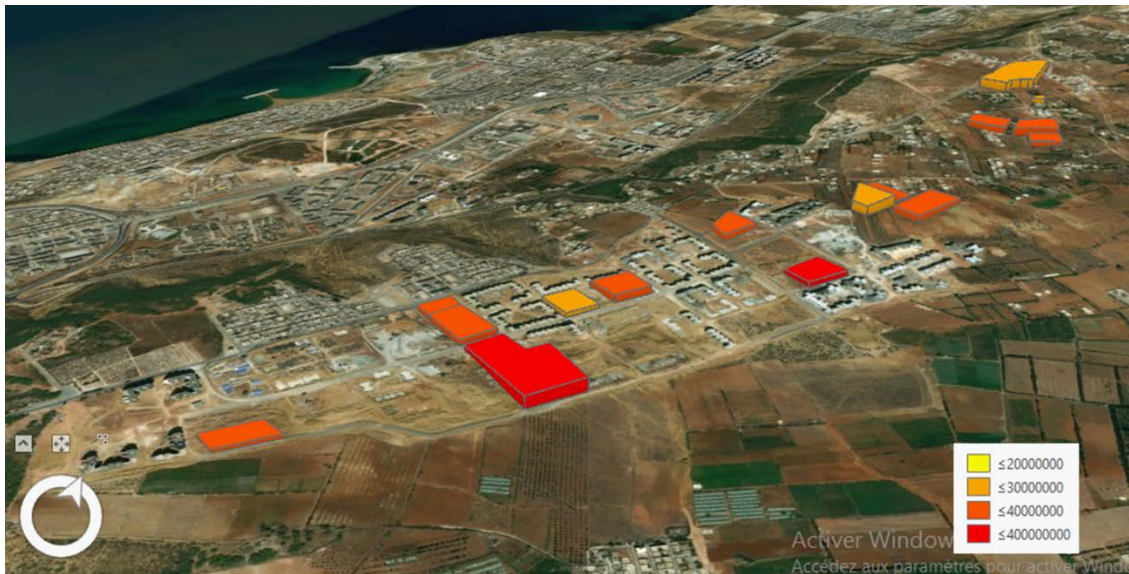


Figure V-9: Répartition spatiale de la demande d'énergie pour les bâtiments publics

Le graphique suivant nous donne une idée sur la répartition de la consommation par type de bâtiment de bâtiment publique.

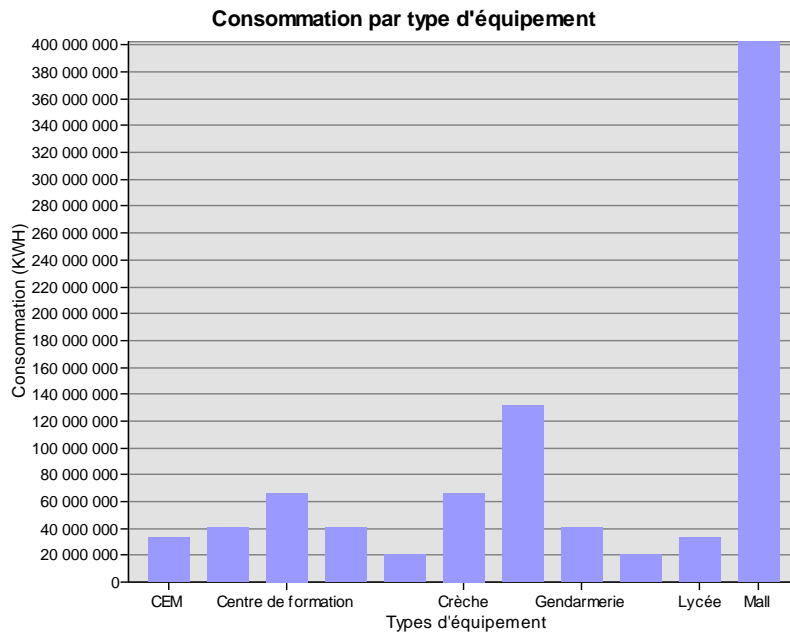


FIGURE V-10: ESTIMATION DE LA DEMANDE EN ENERGIE DES BATIMENTS PUBLICS PAR TYPE

▪ **Estimation de la demande en énergie par quartier**

Le Pos d'El Hchem est composé de trois quartiers. Nous avons ensuite estimé la consommation d'énergie par quartier.

Dans le diagramme suivant, montre la consommation d'énergie par quartier pour les bâtiments résidentiels.

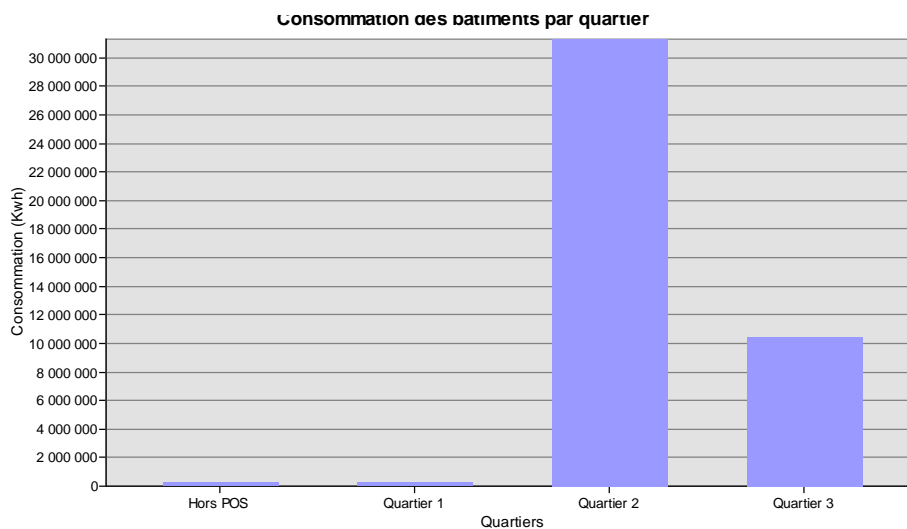


FIGURE V-11: ESTIMATION DE LA DEMANDE EN ENERGIE DES BATIMENTS PAR QUARTIER

Nous remarquons que le quartier 2 est celui qui consomme le plus d'énergie. Le diagramme suivant, montre la consommation d'énergie par quartier pour les bâtiments publics.

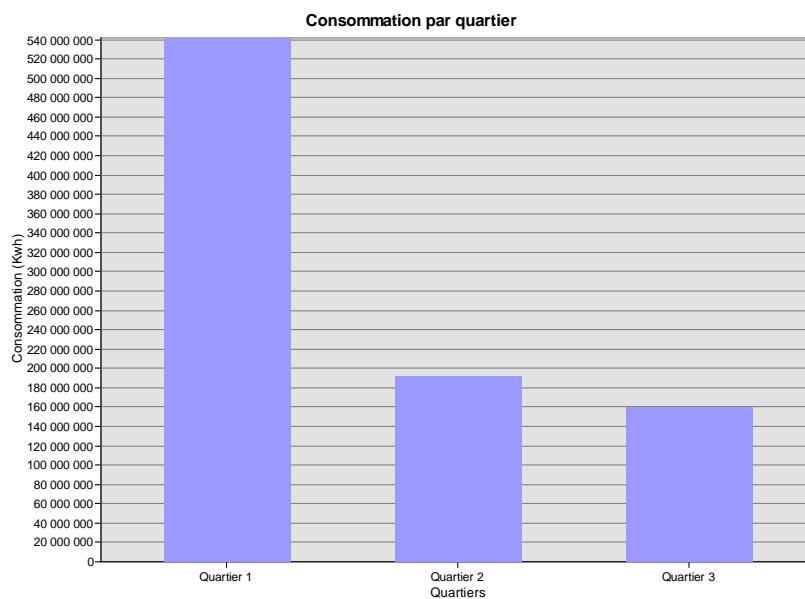


FIGURE V-12: ESTIMATION DE LA DEMANDE EN ENERGIE DES BATIMENTS PUBLICS PAR QUARTIER

Nous remarquons que la plus grande consommation pour les bâtiments publiques se situe dans le quartier 1.

La figure suivante, nous montre comment la consommation générale d'énergie est répartie sur les différents quartiers. Nous remarquons que le quartier 1 en haut de la carte, où se situent un grand nombre de bâtiments résidentiel et de bâtiments publiques est le quartier où l'on trouve la plus grande estimation de consommation d'énergie³. Ensuite vient le quartier 2 en bas de la carte qui est un quartier résidentiel. Le quartier 3 qui possède le moins de bâtiments et le quartier qui demande le moins d'énergie.

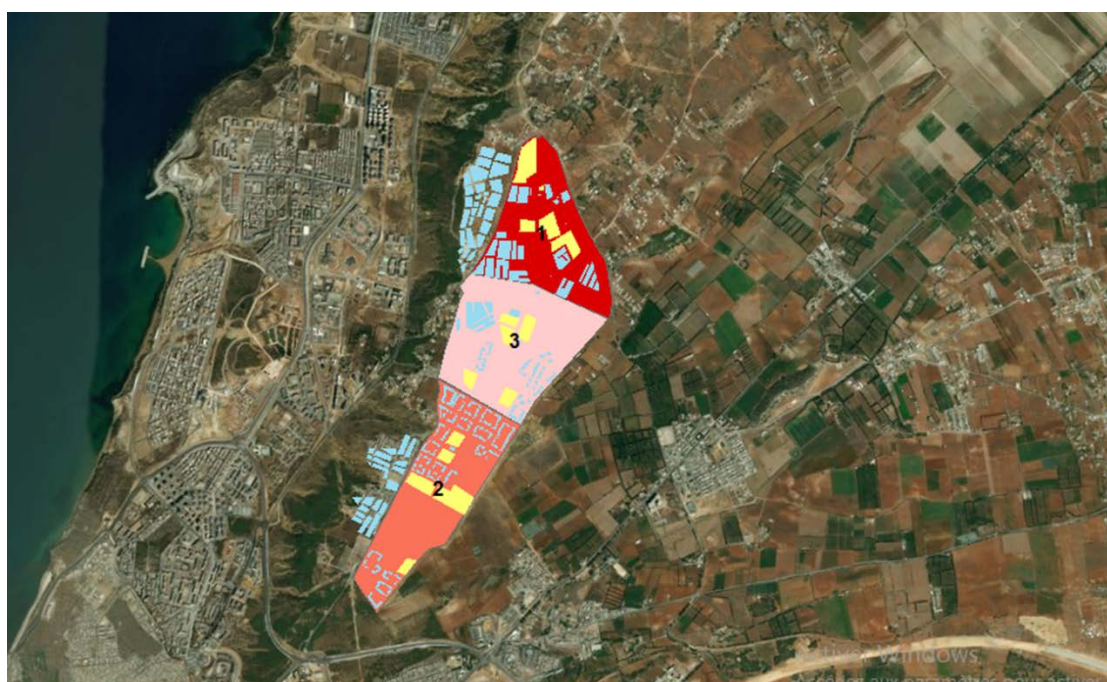


FIGURE V-13 : ESTIMATION GLOBALE DE LA DEMANDE EN ENERGIE PAR QUARTIER

V.4. Conclusion

Le dernier chapitre et le plus important dans ce mémoire nous avons réalisé notre travail final. Nous avons par la conception du SIG2D, nous avons importé les données vectorielles et un modèle numérique de terrain ainsi que les images satellitales de notre zone d'étude. Nous avons ensuite conçu le SIG 3D et nous avons réalisé les analyses spatiales qui nous ont permis d'estimer la demande d'énergie au niveau des bâtiments résidentiels et publiques ainsi qu'au niveaux des quartiers.

Cette étude peut permettre aux décideurs de mieux gérer et d'économisé l'énergie dans la zone d'étude de l'E Hchem.

Conclusion générale

Les Smart cities représentent un modèle conceptuel de développement urbain fondé sur l'utilisation du capital humain, collectif et technologique pour le développement des agglomérations urbaines

Plus de 50 % de la population mondiale vit actuellement en milieu urbain - un chiffre qui a été qui devrait atteindre 70 % d'ici 2050. Cette migration vers les zones urbaines s'accompagne d'une demande accrue de l'énergie. D'ici 2030, on estime que 75 % de la consommation mondiale d'énergie sera imputable aux villes. Pour que le développement urbain soit durable de nouvelles approches sont nécessaires pour la conception urbaine, l'urbanisme et la production et la gestion de l'énergie. Les "villes intelligentes" représentent une opportunité d'améliorer l'efficacité et la durabilité des zones urbaines en utilisant un cadre sous-jacent fondé sur des données.

La 3D est aujourd'hui indispensable dans la plupart des projets d'aménagement au sens large (urbanisme, agriculture, environnement, énergie, transport, ...) et sur l'ensemble du cycle de vie de l'infrastructure (conception, réalisation et exploitation). Que ces différentes phases se fassent directement avec des outils SIG ou avec des outils plus spécialisés, le SIG 3D doit être capable de concevoir ou d'intégrer ces données 3D, d'assurer la gestion du référentiel que constituent ces données (2D et 3D).

Notre objectif dans ce mémoire est l'utilisation des SIG 3D pour modéliser et simuler la de consommation de l'énergie dans une ville intelligente.

Dans la partie théorique, nous avons parlé de tous ce qui concerne les SIG, puis nous avons abordé dans le deuxième le concept des smart cities. Enfin nous avons parlé de la gestion de l'énergie dans les cités intelligentes et nous avons expliqué le rôle des SIG 3D dans cette gestion.

Dans la partie expérimentale, nous avons réalisé un SIG 3D pour la modélisation d'une ville intelligente. Nous avons choisi le POS d'El Hchem dans la wilaya de

Mostaganem. Nous avons simulé la consommation énergétique des bâtiments résidentiels et publiques

En vue des résultats, nous pouvons dire que notre démarche est satisfaisante. Les SIG 3D peuvent nous permettre de concevoir, gérer et analyser les données relatives à la consommation de l'énergie dans des zones urbaine et faciliter ainsi la mission des décideurs, pour l'établissement de nouvelles politiques énergétique des villes.

Cependant, il serait souhaitable de continuer ce travail et modéliser les différents secteurs intervenant dans la politique énergétique des villes intelligentes.

Références bibliographiques :

- [1] Habert, E. (2000). Qu'est-ce qu'un système d'information géographique. Laboratoire de cartographie appliquée, IRD
- [2] <https://www.esrifrance.fr/sig2.aspx>
- [3] <https://www.esrifrance.fr>
- [4] Mahyou, H., Tychon, B., Balaghi, R., Louhaichi, M., & Mimouni, J. (2016). A Knowledge-Based Approach for Mapping Land Degradation in the Arid Rangelands of North Africa. *Land Degradation & Development*, 27(6), 1574-1585.
- [5] Canevet, A. (1995). SIG: Notions de base. In " Documents d'archéologie, d'histoire et d'architecture" (pp. p-87).
- [6] Musielak, C., Chasseigne, G., & Giraudeau, C. Chapitre 1 La nature, une ressource pour la qualité de vie. Application en gérontologie.
- [7] Albino, V., & Fraccascia, L. (2015). The industrial symbiosis approach: A classification of business models. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 2(3), 217-223.
- [8] <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/actualites/veille/parutions/world-urbanization-prospect-2018>
- [9] Cocchia, A. (2014). Smart and digital city: A systematic literature review. In *Smart city* (pp. 13-43). Springer, Cham.
- [10] Brocke, J. V., Simons, A., Niehaves, B., Niehaves, B., Reimer, K., Plattfaut, R., & Cleven, A. (2009). Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process.
- [11] Galasso-Chaudet, N. (2013). Prise en compte des élèves à «besoins particuliers» et pratiques enseignantes: les logiques en jeu en contexte d'« école inclusive» (Doctoral dissertation, Nantes).
- [12] Chaudet, N. (2013). Prise en compte des élèves à " Besoins éducatifs Particuliers" et pratiques enseignantes: les logiques en jeu en contexte d'école inclusive.
- [13] Einstein, A., B. Podolsky, and N. Rosen, 1935, "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?", *Phys. Rev.* 47, 777-780

- [14] Angelidou, M. (2014). Smart city policies: A spatial approach. *Cities*, 41, S3-S11.
- [15] Nylander, K., Coates, P. J., & Hall, P. A. (2000). Characterization of the expression pattern of p63 α and Δ Np63 α in benign and malignant oral epithelial lesions. *International journal of cancer*, 87(3), 368-372.
- [16] Nam, T., & Pardo, T. A. (2011, June). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times* (pp. 282-291).
- [17] Simard, J. (2015). *La ville intelligente comme vecteur pour le développement durable : le cas de la ville de Montréal* (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke).
- [18] Henry-Gambier, D., & Fauchoux, A. (2010, October). Les pratiques autour de la tête en Europe au Paléolithique supérieur.
- [19] Abily, B. (2014). *VIE DU BUREAU IOD*.
- [20] Negre, E., & Rosenthal-Sabroux, C. (2015). Smart cities: a salad bowl of citizens, ICT, and environment. In *Handbook of research on social, economic, and environmental sustainability in the development of smart cities* (pp. 61-78). IGI Global.
- [21] : Dameri, R. P., & Rosenthal-Sabroux, C. (2014). Smart city and value creation. In *Smart city* (pp. 1-12). Springer, Cham.
- [22] Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., ... & Scholl, H. J. (2012, January). Understanding smart cities: An integrative framework. In *2012 45th Hawaii international conference on system sciences* (pp. 2289-2297). IEEE.
- [23] : Cugurullo, 2013 cité dans Albino et al., 2015 : Galoul, Alessia. "Les villes intelligentes : l'open data contribue-t-il à leur développement." Louvain School of Management, Université catholique de Louvain,. Prom.: Belleflamme, Paul (2015).
- [24] Rocle, N. (2015). Gouverner l'adaptation au changement climatique sur (et par) les territoires. L'exemple des littoraux aquitain et martiniquais. *Natures Sciences Sociétés*, 23(3), 244-255

[25] <https://www.agence-france-electricite.fr/consommation-electrique/moyenne-par-jour/#:~:text=La%20consommation%20moyenne%20d'%C3%A9lectricit%C3%A9,4400%20kWh%2Fan%2C%20etc.>