



شعبية تطيار ديمقلا أنزرياز جلا أير هو م جلا
People's Democratic republic of Algeria
ي م لعللا شبحلا و ي العللا م ليعتلا وزارة
Ministry of Higher Education and Scientific Research
م فامست - س يدبا ن د لحميا دعب أ عام ج
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem
ايدو ج تكلولا و مو لعللا أ ليد
Faculty of Sciences and Technology
يتر لمعمارا المدنيقا الهندسقا قسم
Civil engineering & architecture department



N° d'ordre : M...../GCC/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER PROFESSIONNALISANT

Filière : Génie civil .

Spécialité : Efficacité Energétique des Bâtiments.

Thème

Utilisation des SIG 3D pour simuler l'intégration de systèmes d'énergie
renouvelable dans les villes intelligentes

Présenté par :

Mr Abdelouahab Tarek

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

Président : Pr. Mabrouki Abdelkader

Examineur : Pr. Zaoui Mohamed

Encadrant : Dr. Midoun Mohamed

Dédicaces

Au nom du Dieu clément et miséricordieux

Je dédie cet humble travail à

MES CHERS PARENTS

***POUR QUI JE DEVINE CE QUE JE SUIS AUJOURDUI QUE DIEU LE TOUT PUISSANT VOUS
PRESERVE ET VOUS PROCURE UNE SANTE ET UNE LONGUE VIE***

À tous mes enseignants

POUR LEUR CONTRIBUTION A CETTE FORMATION ET LEUR BIENVEILLANCE

***ET POUR TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUE DE PRES OU DE LOIN DANS LA
REALISATION DE CE TRAVAIL***

MERCI

Remerciement

*Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH de m'avoir donné le courage et la patience
Pour accomplir ce travail*

*Je voudrais remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à
L'accomplissement de ce travail.*

*Aussi je remercie au corps professoral et administratif de la faculté des sciences
Exactes et de l'informatique qui déploient de grands efforts pour nous assurer une
Bonne formation.*

*Je tiens tout particulièrement à remercier monsieur MIDOUN MOHAMMED
Pour l'encadrement de ce mémoire et pour la confiance qu'il m'a accordée, sa disponibilité
et ses bons conseils.*

*Un grand merci à toute ma famille surtout mes parents , qui m'ont aidé
à suivre mes études dans les meilleures conditions et qui m'ont toujours soutenu et
encouragé sans limite.*

Merci à tous et à toutes.

Résumé

Les sources d'énergie renouvelables utilisées dans les systèmes de production décentralisée à petite échelle sont une alternative prometteuse pour un apport d'énergie supplémentaire vers des villes plus intelligentes et plus durables. Les SIG 3D sont de plus en plus utilisés pour modéliser et gérer les villes intelligentes. De plus, ils constituent des outils puissants au service de la gestion et de l'exploitation des énergies renouvelables. L'objectif principal de ce mémoire est de réaliser un SIG 3D basé sur des données réelles et d'étudier l'intégration des énergies renouvelables dans les villes intelligentes. Ceci passe par la localisation du potentiel énergétique des villes et l'intégration de cette énergie dans le réseau électrique. Dans ce mémoire, nous sommes contentés d'étudier la localisation du potentiel énergétique solaire dans la région d'El Hchem à l'Est de Mostaganem

Mots Clés : Ville Intelligente, 3D, 2D, Les SIG, Energie Renouvelable, Potentiel Energétique Solaire, Arc gis Desktop, Arc gis Pro

Abstract

Renewable energy sources used in small-scale decentralized generation systems are a promising alternative for providing additional energy to smarter and more sustainable cities. 3D GIS is increasingly used to model and manage smart cities. In addition, they are powerful tools for the management and exploitation of renewable energies. The main objective of this work is to realize a 3D GIS based on real data and to study the integration of renewable energies in smart cities. This involves locating the energy potential of cities and integrating this energy into the electricity network. In this work, we are content to study the location of the solar energy potential in the region of El Hchem in the East of Mostaganem

Keywords: Smart City, 3D, 2D, GIS, Renewable Energy, Potential

Solar Energy, Arc gis Desktop, Arc gis Pro

ملخص

الغرض من هذه الرسالة النهائية هو إظهار ما يجلبه نظام المعلومات الجغرافية ثلاثي الأبعاد (GIS) لمحاكاة تكامل أنظمة الطاقة في المدن الذكية باستخدام Esri Arc gis ، حيث تستجيب المدن الذكية للتحديات المتعددة ، لقد اخترنا الحلول التي يوفرها مفهوم المدينة الذكية بهدف الإشراف على البنى التحتية لإتاحة الفرصة للعمل ، ولجعل المدينة أكثر ابتكارًا وأكثر تواصلًا من خلال الاندماج من الطاقة المتجددة

الهدف الرئيسي من المشروع هو تقديم نموذج GIS موجّه ثلاثي الأبعاد يجمع بين نمذجة المدن الذكية واستخدام النماذج ثلاثية الأبعاد وتكامل الطاقة المتجددة المرتبطة بالشبكات الذكية مما يسمح لنا بالتحكم حسب إمكانيات طاقاتنا المتكاملة.

Sommaire

CHAPITRE I.	LES SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE	10
I.1.	INTRODUCTION	10
I.2.	DÉFINITION DES SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE	10
I.3.	LES COMPOSANTS D'UN SIG	11
I.3.1.	LE MATÉRIEL	11
I.3.2.	LES LOGICIELS	11
I.3.3.	LES DONNÉES	11
I.3.4.	LES UTILISATEURS	11
I.3.5.	LES MÉTHODES	12
I.4.	TYPES DE STRUCTURES DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES	12
I.4.1.	LES DONNÉES RASTERS	12
I.4.2.	DONNÉES VECTEURS [4]	13
I.4.3.	LES DONNÉES ATTRIBUTAIRES	14
I.5.	DOMAINES D'APPLICATION DES SIG	15
I.6.	FONCTIONNALITÉS D'UN SIG	15
I.6.1.	L'ABSTRACTION	16
I.6.2.	L'ACQUISITION	16
I.6.3.	L'ARCHIVAGE	17
I.6.4.	L'ANALYSE	17
I.6.5.	L'AFFICHAGE	18
I.7.	LES SIG 3D	18
I.7.1.	LA TROISIÈME DIMENSION DANS LE SIG	18
I.7.2.	LES LOGICIELS SIG 3D	19
I.8.	CONCLUSION	19
CHAPITRE II.	SMART CITIES ET SMART GRIDS	20
II.1.	INTRODUCTION	20
II.2.	LES SMART CITIES	20
II.2.1.	DÉFINITION D'UNE SMART CITY	20
II.2.2.	LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE SMART CITY	21
II.2.3.	LES ÉNERGIES RENOUVELABLES	23

II.3. RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS SOUS SMART GRID	25
II.3.1. RÉSEAU ÉLECTRIQUE	25
II.3.2. ARCHITECTURES DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES	26
II.3.3. DIFFÉRENTS TYPES DE RÉSEAUX ÉLECTRIQUES	27
II.3.4. DÉFINITION DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS	28
II.3.5. ENJEUX	29
II.3.6. COMPARAISON DES RÉSEAUX CLASSIQUES ET DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS	29
II.3.7. INTÉRÊT DU RÉSEAU INTELLIGENT	31
II.3.8. OBJECTIFS PRINCIPAUX DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE INTELLIGENT	31
II.3.9. LES CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE INTELLIGENT :	32
II.3.10. TYPES DE RÉSEAUX INTELLIGENTS :	33
II.4. CONCLUSION	34
<u>CHAPITRE III.</u> <u>LES SIG AU SERVICE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE</u>	<u>35</u>
III.1. INTRODUCTION	35
III.2. APPORT DES SIG	35
III.2.1. L'ANALYSE SIG POUR OPTIMISER L'ACTIVITÉ SOLAIRE	35
III.2.2. LOCALISATION DES SITES POTENTIELS	36
III.2.3. CALCUL DU POTENTIEL SOLAIRE EN MILIEU URBAIN	38
III.3. ÉVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE EN UTILISANT LES SIG	38
III.3.1. LES DONNÉES UTILISÉES	38
III.3.2. MÉTHODOLOGIE DE RÉALISATION	40
III.3.3. IDENTIFICATION DU POTENTIEL SOLAIRE	40
III.4. CONCLUSION	47
<u>CHAPITRE IV.</u> <u>MÉTHODOLOGIE</u>	<u>48</u>
IV.1. INTRODUCTION	48
IV.2. PROBLÉMATIQUE	48
IV.3. LA DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE	48
IV.4. DÉFINITION DES DONNÉES :	49
IV.5. ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL	50
IV.6. PHASES DE RÉALISATION	50

IV.7. CONCLUSION	51
<u>CHAPITRE V.</u> <u>EXPÉRIMENTATION</u>	<u>52</u>
V.1. INTRODUCTION	52
V.2. RÉALISATION DU SIG 2D	52
A. INTÉGRATION DES DONNÉES	52
V.3. RÉALISATION DU SIG 3D	54
A. MODÉLISATION 3D	54
V.3.1. ANALYSE SPATIALES 3D	55
V.4. CONCLUSION	59

Listes des tableaux

TABLEAU III-1 : CARACTÉRISTIQUES ET FACTEURS DE LA VILLE INTELLIGENTE:	22
TABLEAU III-2 : COMPARAISON DES RÉSEAUX CLASSIQUES ET DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE INTELLIGENT.	31

Listes des figures

FIGURE I-1 : SUPERPOSITION DES COUCHE THÉMATIQUES DANS UN SIG	11
FIGURE I-2 : LE MODÈLE RASTER	13
FIGURE I-3 : LES OBJETS DE BASE EN MODE VECTEUR	15
FIGURE I-4 : EXEMPLE DE DONNÉES ATTRIBUTAIRES	15
FIGURE I-5 : LES FONCTIONNALITÉS D'UN SIG	17
FIGURE II-1 : STRUCTURE GLOBALE D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE.	27
FIGURE II-2 : ARCHITECTURE D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE AVEC DIVERSES SOURCES DE PRODUCTION.	28
FIGURE II-3 : SCHÉMA SIMPLIFIÉ D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE	28
FIGURE II-4 : EXEMPLE DE RÉSEAU ÉLECTRIQUE INTELLIGENTS	29
FIGURE III-1 : LE RAYONNEMENT SOLAIRE	37
FIGURE III-2 : IMPLANTATION DE PANNEAUX SOLAIRES	38
FIGURE III-3 : ZONE D'ACCESSIBILITÉ AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE DEPUIS UNE FERME SOLAIRE	38
FIGURE III-4 : EXEMPLE D'ÉVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE D'UNE VILLE	42
FIGURE III-5 : EXEMPLE D'ÉVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE DES TOITURES DE BÂTIMENTS	45
FIGURE IV-1 : LOCALISATION DE NOTRE ZONE D'ÉTUDE	50
FIGURE IV-2 : MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN DE LA RÉGION D'ÉTUDE	51
FIGURE IV-3 : PHASES DE LA RÉALISATION DE LA RÉALISATION DU PROJET	52
FIGURE V-2 : DONNÉES SPATIALES DE LA BASE DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES	54
FIGURE V-4 : ORGANISATION DES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES	55
FIGURE V-5 : REPRÉSENTATION DE LA BASE DE DONNÉES 3D AVEC ArcGIS Pro. EN BLEU LES ÉQUIPEMENTS PUBLICS, EN ROUGE LES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS	55
FIGURE V-6 : CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE PAR SAISON PAR CIEL COUVERT STANDARD	56
FIGURE V-7 : CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE PAR SAISON PAR CIEL COUVERT UNIFORME	57
FIGURE V-8 : CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE SELON L'EMPRISE DES BÂTIMENTS	57
FIGURE V-9 : CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE SUR LES TOITURES DES BÂTIMENTS DE LA ZONE D'ÉTUDE	58
FIGURE V-10 : SÉLECTION DES TOITURES POUVANT RECEVOIR DES PANNEAUX SOLAIRES	59
FIGURE V-13 : REPRÉSENTATION 3D DES BÂTIMENTS POUVANT RECEVOIR DES INSTALLATIONS DE PANNEAUX SOLAIRES	59

Listes des abréviations

3D 3 Dimension

SIG System d'Informations Géographiques

SER Source d'Energie Renouvelable

SG Smart Grid

TIC Technologie de l'Information et de Communication

DT Demande de Travaux

Introduction générale

Une ville intelligente se compose de plusieurs éléments tels que la gouvernance, la mobilité, l'économie et l'énergie qui jouent un rôle clé dans la transition vers une vie urbaine durable, intégrant des infrastructures essentielles et divers acteurs.

Les SIG sont désormais massivement utilisés par le grand public et les entreprises. La restitution d'information sous forme de carte dynamique est devenue naturelle et les technologies sont aujourd'hui matures pour fournir des cartes dans tous les environnements et sur tous les supports : bureautique, serveur, cloud, tablette, smartphone, etc.

De plus, les technologies sont maintenant capables d'intégrer, des flux d'information géolocalisés venant de sources multiples : services météo, réseaux sociaux, services de l'État...

Le développement d'un prototype de smart city à l'aide des SIG 3D permet à tous les acteurs de la ville de disposer de logiciels de visualisation et de calculs 3D, mais aussi de supervision et d'aide à la décision.

Les sources d'énergie renouvelables utilisées dans les systèmes de production décentralisée à petite échelle sont une alternative prometteuse pour un approvisionnement énergétique supplémentaire vers des villes plus intelligentes et plus durables. Cependant, leur bonne intégration en tant que nouvelles infrastructures de la ville intelligente nécessitent de comprendre la topologie et l'exploitation du réseau électrique, constituant un nouveau paradigme difficile d'approvisionnement en énergie.

L'objectif principal de ce mémoire est de réaliser un SIG 3D basé sur des données réelles et d'étudier l'intégration des énergies renouvelables dans les villes

intelligentes. Ceci passe par la localisation du potentiel énergétique des ville et l'intégration de cette énergie dans le réseau électrique.

Dans ce mémoire, nous nous sommes contenté d'étudier la localisation du potentiel énergétique solaire dans la région d'El Hchem à l'Est de Mostaganem. L'étude de l'intégration de cette énergie solaire dans le réseau électrique de la zone d'étude n'a pas été abordée et sera une suite à ce travail.

Notre travail est devisé en quatre chapitres : Le premier chapitre résume la définition et les concepts des SIG et de l'information géographiques en général, ainsi que des SIG 3D. Le second chapitre présente les concepts de smart cities et de smart grids. Le troisième chapitre explique ce qu'un SIG peut apporter à l'étude des énergies renouvelables et particulièrement à l'énergie solaire. Dans le quatrième chapitre nous allons détaillés les étapes de réalisation de notre projet, avant de démontrer les résultats de notre application dans le cinquième chapitre. Enfin, nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I. Les systèmes d'information géographique

I.1. Introduction

Les systèmes d'information géographique sont des systèmes d'organisation et de gestion des données géographiques permettant de collecter, produire, gérer, manipuler, analyser, interroger et de tirer des décisions à partir de données localisées géographiquement (géo référencées) [1].

I.2. Définition des systèmes d'information géographique

Un système d'information géographique (SIG) est un ensemble constitué par le matériel, les logiciels, les données géographiques et les ressources humaines mis en au point pour saisir, stocker en mémoire, mettre à jour, transformer, analyser et représenter toutes sortes d'informations spatiales à référence géographique [2]. Les données dans un SIG sont représentées sous forme de couches thématiques.

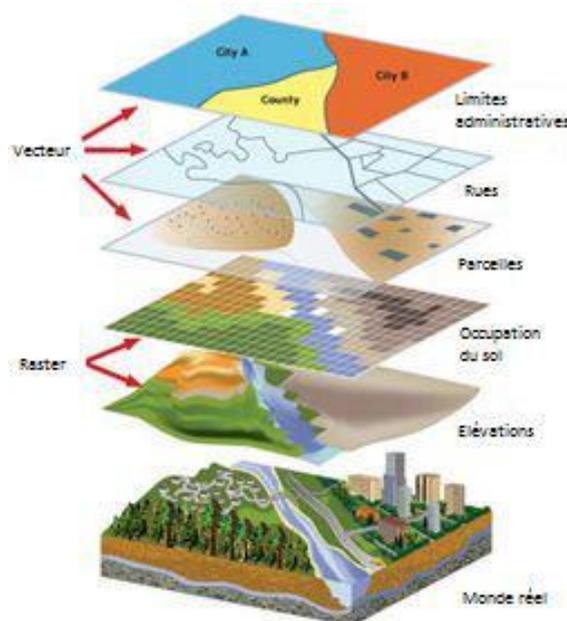


FIGURE I-1 : SUPERPOSITION DES COUCHES THÉMATIQUES DANS UN SIG

I.3. Les composants d'un SIG

Un système d'information géographique est constitué de cinq composants principaux : le matériel, les logiciels, les données, les utilisateurs et les méthodes [3].

I.3.1. Le matériel

L'utilisation d'un SIG requiert l'utilisation d'un ou de plusieurs ordinateurs, qu'ils soient autonomes ou en réseaux. De plus, on trouve aujourd'hui de plus en plus de systèmes client-serveur qui proposent des solutions de diffusion de cartes sur le Web à partir desquels le client peut directement faire des requêtes.

I.3.2. Les logiciels

Les logiciels SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations dans une interface graphique conviviale.

I.3.3. Les données

Les données sont indispensables au SIG, elles peuvent être de trois types : géographiques, attributaires, ou représentant les différentes métadonnées.

Les données géographiques sont des données localisées à la surface terrestre auxquelles on associe une forme et des paramètres d'affichage (couleur, épaisseur du trait...). Elles peuvent être raster ou vecteur. Les données attributaires caractérisent les données géographiques (nom d'une route, nombre d'habitants dans un immeuble localisé, ...). Les métadonnées décrivent les données. Elles peuvent représenter par exemple la date d'acquisition des données ou le nom du propriétaire, etc.

I.3.4. Les utilisateurs

Un système d'information géographique (SIG) étant avant tout un outil, c'est son utilisation (donc, son où ses utilisateurs) 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.

1.3.5. 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.

1.4. Types de structures de données géographiques

1.4.1. Les données rasters

Ce sont des données où l'espace est divisé de manière régulière en ligne et en colonne ; à chaque valeur ligne/colonne (pixel), sont associées une ou plusieurs valeurs décrivant les caractéristiques de l'espace. [3]

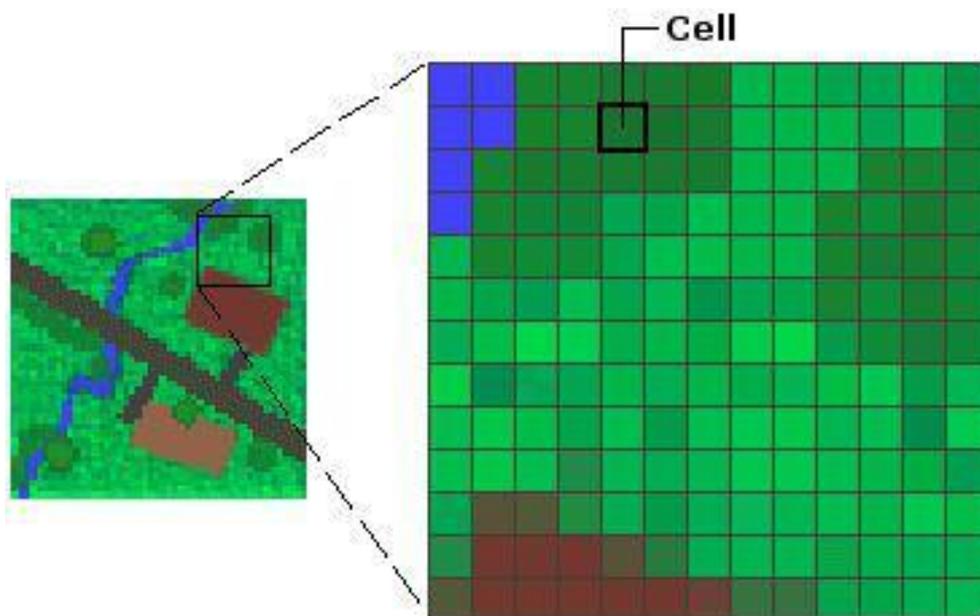


FIGURE I-2 : LE MODÈLE RASTER

Pour les données rasters utilisés dans les SIG, les jeux de données peuvent prendre trois formes : Ils peuvent être thématiques, dans ce cas ils représenteront des

données de sol, ils peuvent être continus, ils représenteront alors les évènements tel que la température ou la vitesse du vent ou encore prendre la forme d'images satellite, enfin, ils peuvent aussi être composés d'images tels que des cartes ou des dessins numérisés. Ces ensembles de données raster (raster dataset) peuvent être apposés les uns sur les autres pour pouvoir avoir une vue globale de l'environnement étudié.

Un fichier d'images raster (raster file) est généralement plus volumineux qu'un fichier d'images vectorielles. De plus un fichier raster sera sensiblement plus compliqué à modifier sans pertes d'informations, même si certains softwares, appelés raster editor, permettent de convertir un fichier raster en un fichier vectoriel afin d'y apporter des précisions et des changements. Les extensions des rasters (raster extension) sont la plupart du temps de type BMP, TIFF, GIF ou JPEG.

1.4.2. **Données Vecteurs [4]**

Pour représenter les objets à la surface du globe, les SIG utilisent trois objets géométriques que l'on appelle aussi primitives qui sont : le point, la ligne et la surface (polygone)

- **Les points**

Est l'objet le plus simple, il peut représenter à grande échelle des arbres, des bornes d'incendie, des collecteurs d'ordures, mais à des échelles plus petites comme pour les cartes routières au 1/1.000 000 ème, il peut représenter une capitale régionale.

- **La ligne**

La ligne représente les réseaux de communication, d'énergie, hydrographiques, d'assainissement, etc... Elle peut être fictive, en représentant l'axe d'une route, ou virtuelle en modélisant des flux d'information.

- **La surface (Polygone)**

Elle peut matérialiser une entité abstraite comme la surface d'une commune ou des entités ayant une existence géographique comme une forêt, un lac, une zone bâtie.

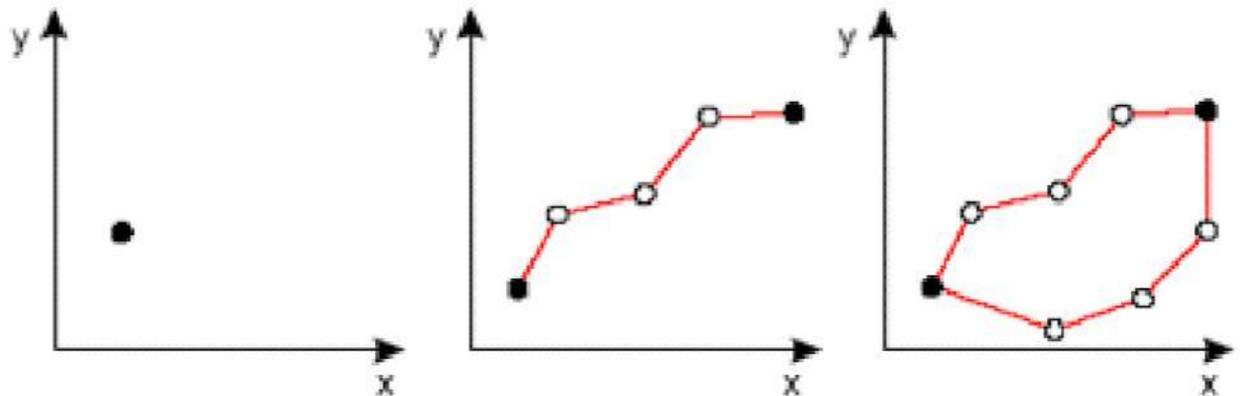


FIGURE I-3 : LES OBJETS DE BASE EN MODE VECTEUR

1.4.3. Les données attributaires

On range dans cette classe les données qui ne sont pas des données géographiques, elles ne sont pas géo localisées (en X, Y, voir Z), mais sont des attributs d'autres données, qui elles sont des données géographiques. Elles sont identifiées par leur nom. Les informations tabulaires constituent la base des entités géographiques et permettent d'afficher, d'interroger et d'analyser les données [4].

FID	Parcel ID	Zoning	Address	Zip Code	State	Tax Region
0	8618308030	Residential	7228 STREAMSIDE DR	80525	CO	2101
1	9624125001	Residential	7605 S COUNTY RD 13	80527	CO	2019
2	8618306004	Residential	7318 SILVER MOON LN	80525	CO	2101
3	8618306026	Residential	7319 SILVER MOON LN	80525	CO	2101
4	8618405075	Residential	1655 STREAMSIDE DR	80525	CO	2100
5	8618308052	Residential	1300 STREAMSIDE CT	80525	CO	2101
6	8618308032	Residential	7312 STREAMSIDE DR	80525	CO	2101
7	8618310073	Residential	1606 GREENSTONE TR	80525	CO	2100
8	8618306015	Residential	1401 WHITE PEAK CT	80525	CO	2101
9	8618306014	Residential	7507 GREENSTONE TR	80525	CO	2101
10	8618308042	Residential	7514 GOLD HILL CT	80525	CO	2101
11	8618308043	Residential	7515 GOLD HILL CT	80525	CO	2101
12	8618308062	Residential	7119 SILVER MOON LN	80525	CO	2101
13	8618308034	Residential	7312 SILVER MOON LN	80525	CO	2101

FIGURE I-4 : EXEMPLE DE DONNÉES ATTRIBUTAIRES

I.5. Domaines d'application des SIG

Les SIG ont des domaines d'application aussi variés que la recherche scientifique, la gestion de ressources ou d'immeubles, l'archéologie, l'évaluation des impacts environnementaux, la planification urbaine, la cartographie, la criminologie, la géographie historique (numérisation et géoréférencement de cartes historiques qui peuvent contenir des informations importantes sur le passé), le marketing, la logistique, la cartographie de prospection de minerais et bien d'autres encore. Il en découle que les fonctionnalités des SIG sont toutes aussi variées : traitements d'images, photo-interprétation (télédétection, photo aérienne...), traitements statistiques (plus particulièrement géostatistique), utilisation de GPS et DGPS (GPS différentiel), utilisation de mini-SIG embarqués, mise à disposition de cartes sur internet. [3]

I.6. Fonctionnalités d'un SIG

Les systèmes d'information géographique peuvent être constitués pour répondre à différentes demandes. Comme le système universel n'existe pas, il faut les adapter selon des objectifs fixés [5].

Toutefois, ils ont en commun des fonctionnalités que l'on retrouve dans chaque système regroupé en cinq familles sous le terme des « 5A » pour : Abstraction, Acquisition, Archivage, Affichage et Analyse. Ces termes résument les fonctionnalités que tous les systèmes doivent assurer.



FIGURE I-5 : LES FONCTIONNALITÉS D'UN SIG

1.6.1. L'abstraction

C'est la modélisation du monde réel ; Elle se traduit par le choix de données à prendre en compte, leur définition et leur structuration.

1.6.2. L'acquisition

C'est la collecte de l'information ; Les contraintes d'acquisition de l'information sont liées à la nature et à l'organisation des sources d'informations.

Les données peuvent être acquises auprès des organismes producteurs ou revendeurs (nationaux ou internationaux).

Il existe différentes techniques d'acquisition :

- La photogrammétrie (photo aérienne)
- La télédétection (image satellite)
- L'arpentage (levé topographique)

1.6.3. L'archivage

L'archivage permet de stocker les informations de manière réfléchie afin d'y accéder le plus rapidement possible. Pour les données alphanumériques, le stockage peut être réalisé grâce aux différents systèmes de gestion de base de données selon le modèle abstrait prédéfini.

Pour les images, il existe une multitude de formats de stockage qui comprennent ou non les données sémantiques.

1.6.4. L'analyse

L'analyse spatiale se distingue selon qu'elle se base sur des données sémantiques ou des données géométriques.

L'analyse spatiale sémantique repose sur l'étude, par des requêtes ou des calculs, de données alphanumériques afin de décrire qualitativement ou quantitativement certaines caractéristiques d'une région. Cette description se fait souvent de manière cartographique et elle se doit de respecter les règles de sémiologies graphiques.

Les données qualitatives non ordonnées sont représentées par des couleurs différentes, des formes, des différences de texture ou d'orientation. Les données qualitatives ordonnées ou quantitatives relatives sont représentées par un dégradé d'une seule et même couleur ou l'affichage de valeurs. Les données quantitatives absolues sont représentées par une variation de taille.

L'analyse spatiale géométrique est l'étude des formes, des positions et des relations entre les objets comme le calcul de distances, d'intersections ou d'exclusions par exemple. Il est alors possible de travailler sur la topologie. Ces analyses sont possibles grâce aux différentes fonctionnalités que proposent les logiciels SIG.

1.6.5. L'affichage

L'affichage peut se faire sur différents supports. La plupart du temps, le SIG installé sur une machine fixe est capable de lire un ou plusieurs formats d'images et de manipuler des bases de données afin d'afficher sur l'écran les informations voulues.

Aujourd'hui, il devient possible de ne plus installer le logiciel directement sur sa machine et de réaliser ses requêtes et l'affichage des résultats directement par Internet.

1.7. Les SIG 3D

1.7.1. La troisième dimension dans le SIG

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

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

La troisième dimension a été introduite dans les bases de données en deux dimensions comme un simple attribut alphanumérique. Le résultat est appelé 2D½ car une telle modélisation ne permet pas de représenter tout type d'objet 3D.

L'intérêt d'un tel choix réside en partie dans le fait que les modèles 2D et 2D½ sont identiques et que, par conséquent, les systèmes employés en 2D peuvent toujours servir avec des données en 2D½. Seulement, il subsiste encore de fâcheuses limitations géométriques.

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

1.7.2. Les Logiciels SIG 3D

Un SIG 3D est un système capable de modéliser, représenter, gérer, manipuler, analyser et supporter des décisions fondées sur l'information associée à un phénomène 3D.

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

Un SIG 3D devrait évidemment offrir ces mêmes fonctionnalités tout en les adaptant à la donnée volumique.

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

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

moins détaillée et moins réaliste que ceux qui sont produits à l'aide d'un logiciel de CAO.

1.8. Conclusion

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

Chapitre II. Smart cities et smart grids

II.1. Introduction

Le concept de la smart cities qui repose sur les technologies de l'information et de communication nécessite un réseau électrique intelligent pour relier les différentes sources d'énergie utilisées et permettre par la suite de mieux gérer et de contrôler la ville.

II.2. Les smart cities

Dans les années 1990, avec l'émergence du numérique et d'Internet dans le milieu urbain, des publications sur le concept de digital city ou ville numérique ont commencé à émerger. Mais ce n'est que vers 1994 que le concept des smart city apparaît dans des articles. Cependant, il aura fallu attendre les années 2000 et, plus particulièrement 2010, pour que les écrits se multiplient et connaissent un certain succès. Cette attention particulière autour de ce sujet a débuté lorsque les multinationales du secteur des TIC comme IBM, Cisco...ainsi que les organismes internationaux comme la Commission Européenne ou l'OCDE ont commencé à y montrer de l'intérêt et lorsque l'Union européenne a reconnu la ville intelligente comme un de ses principaux axes de développement.

II.2.1. Définition d'une smart city

Le concept de "smart city" ou "ville intelligente" désigne une ville s'appuyant sur les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) pour améliorer la qualité, la performance et l'interactivité des services urbains, réduire les coûts et la consommation de ressources et accroître les contacts entre les citoyens.

Par ailleurs, le numérique est aujourd'hui omniprésent dans le quotidien des personnes et ces nouveaux usages modifient considérablement les comportements et les habitudes des individus dans la vie privée ou dans la sphère professionnelle.

Ainsi, dessiner la ville intelligente de demain, c'est utiliser ces nouvelles technologies pour optimiser la gestion du territoire, de ses équipements, sécuriser le citoyen, le tout dans un contexte de développement durable [4].

II.2.2. Les caractéristiques d'une smart city

Le modèle de ville intelligente permet d'évaluer les villes intelligentes de taille moyenne sur la base de six caractéristiques qui ont attiré à l'économie, à la mobilité, au citoyen, à l'environnement, à la gouvernance et à la qualité de vie.

Il s'agit donc d'un outil de classification. Grâce à celui-ci, l'état actuel de la ville peut alors être examiné et les domaines nécessitant une attention particulière pour son développement peuvent être identifiés.

TABLEAU III-1 : CARACTÉRISTIQUES ET FACTEURS DE LA VILLE INTELLIGENTE:

Smart Economy (compétition)	Smart People (Capital humain et social)	Smart Governance (Participation)
Esprit novateur Entrepreneuriat Image économique et marque Flexibilité du marché du travail Ancrage international Capacité de transformer	Niveau de qualification Apprentissage tout au long de la vie Pluralité sociale et ethnique Flexibilité créativité Cismopolitisme Participation à la vie publique	Participation dans la prise de décision Services publics et sociaux Transparence gouvernementale Stratégies et perspectives politiques
Smart Mobility (Transport et TIC)	Smart Environment (Ressources naturelles)	Smart Living (Qualité de vie)
Accessibilité locale Accessibilité internationale Disponibilité de l'infrastructure-TIC Systèmes de transport durables ,innovateurs et sécurisées	Attractivité des conditions Naturelles Pollution Protection environnementale Gestion des ressources Durables	Equipements culturels Conditions sanitaires Qualités et sécurité des logement Equipements pour l'éducation Attractivité touristique Cohésion

II.2.2.1 Smart Economy

Cet aspect comprend les facteurs liés à la compétitivité économique de la ville, c'est-à-dire : l'innovation, l'entrepreneuriat, l'esprit d'entreprise, la productivité et la flexibilité du marché du travail ainsi que l'importance économique de la ville sur le marché national et international [5].

II.2.2.2 Smart People

Cette caractéristique est le résultat de différents facteurs liés au développement du capital humain et social. En effet, elle prend en considération le niveau de qualification et d'éducation de la population, les diversités sociales et ethniques et la qualité des interactions sociales en ce qui concerne l'intégration et la participation publique ainsi que l'ouverture sur le monde [6].

II.2.2.3 Smart Gouvernance

Dans cette partie, ce sont les aspects de participation politique, de services aux citoyens, de transparence du gouvernement qui seront pris en considération pour définir une gouvernance intelligente [7].

II.2.2.4 Smart Mobility

La Mobilité ne comprend pas seulement les systèmes de transports modernes et durables, elle contient également les aspects liés à la disponibilité des TIC ainsi que l'accessibilité locale et internationale très importante à l'heure actuelle avec la globalisation [8].

II.2.2.5 Smart Environnement

De nos jours, les préoccupations liées aux conditions naturelles et climatiques, à la pollution, à la gestion des ressources et à la protection de l'environnement devenant de plus en plus importantes, les villes essayent de réduire au maximum leur empreinte écologique et

énergétique par une **gestion responsable des ressources** en utilisant, par exemple, des nouvelles innovations technologiques comme les énergies propres [9].

II.2.2.6 Smart Living

Cette dernière caractéristique, couvre différents aspects liés à l'amélioration de la qualité de vie en termes de services principalement comme la santé, le tourisme, la sécurité, la culture, etc.

II.2.3. Les énergies renouvelables

L'intégration des énergies renouvelable dans les villes intelligents est primordiale, elles permettent de diversifier les ressources et de minimiser les dépendances aux réseaux électriques urbains. Actuellement, il existe diverses sources d'énergies renouvelables, dont on peut citer :

II.2.3.1 L'énergie solaire

Ce que l'on nomme communément énergie solaire est la fraction de l'énergie du rayonnement solaire qui parvient sur la surface de la terre, après filtrage par l'atmosphère.

Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires qui permet de récupérer l'énergie du soleil et de produire de l'électricité, sans pièces tournantes et sans bruit et elle n'émet aucun gaz à effet de serre. L'électricité produite peut être soit stockée dans des batteries pour les installations autonomes, soit injecté dans le réseau.

Par sa souplesse et sa facilité d'installation et de maintenance, l'énergie solaire est une solution technique et économique pour l'électrification des sites isolés.

a. Le Rayonnement Solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble du rayonnement émis par le soleil car il n'y a pas que la lumière visible. Elle est une onde électromagnétique et elle est entourée dans le spectre des UV et des infrarouges, des ondes Radio et des rayons gamma, mais aussi il y a des rayons

cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées. Tout ce rayonnement transporte l'énergie solaire, indispensable à toute vie terrestre.

b. Ensoleillement

L'ensoleillement est la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période donnée, s'exprimant en mégajoules par mètre carré, MJ/m²(comme recommandé par l'organisation météorologique mondiale) ou en wattheures par mètre carré, Wh/m²(surtout par l'industrie solaire). Cette dernière mesure divisée par le temps d'enregistrement fournit la mesure de densité de puissance, appelée l'éclairement énergétique / irradiance), exprimé en watts par mètre carré (W/m²). En météorologie, on considère que le temps est ensoleillé lorsque les objets, bâtiments, corps etc. produisent nettement des ombres portées : le lieu est alors soumis à une « insolation ». La surface est considérée ensoleillée si l'éclairement reçu est au moins égal à 120 watts par mètre carré

L'éclairement d'un lieu est soumis à de nombreux paramètres : astronomiques (heures de lever et de coucher du soleil), topographique, météorologique (nuages, brouillard), naturels (végétation, faune) ou encore humains (bâtiments, passage de véhicules...). L'ensoleillement peut se mesurer pour différentes durées : une journée, un mois, une année, etc. On utilise un héliographe pour enregistrer cette mesure.

II.2.3.2 Energie éolienne :

L'énergie cinétique du vent est convertie en énergie électrique grâce aux turbines aérogénérateurs. Les deux types de générateurs principalement utilisés sont synchrones et asynchrones. En fonction de ces types, leur raccordement au réseau se fait soit directement, soit via des interfaces d'électronique de puissance. Dans les sites isolés et en tenant compte de l'intermittence de l'énergie éolienne, les turbines sont normalement associées à un système de stockage d'énergie et/ou à un moteur diesel. Il existe également deux possibilités d'installation des parcs éoliens connectés au réseau : éolien en mer (offshore) et éolien sur terre (on shore). La puissance d'un parc éolien peut varier de quelques Mégawatts à quelques centaines de Mégawatts.

II.2.3.3 Energie photovoltaïque :

Les panneaux photovoltaïques transforment directement l'énergie solaire en énergie électrique. Il s'agit de cellules en matériaux semi-conducteurs fonctionnant sur le principe de la jonction P-N, réalisées actuellement pour la grande majorité à partir de silicium cristallisé. Une grande partie des systèmes PV est connectée au réseau, notamment en basse tension (BT) et associé aux bâtiments Ils sont aussi utilisés pour l'alimentation des sites isolés en association avec un système de stockage. Le système PV peut aussi être montée parcs de plusieurs hectares parfois et sont alors connectés directement à la MT [10].

II.2.3.4 Energie solaire thermique :

Le principe consiste à capter le rayonnement solaire et à le stocker dans le cas des systèmes passifs (véranda, serre, façade vitrée) ou, s'il s'agit de système actif, à redistribuer cette énergie par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air. L'énergie solaire thermique trouve de nombreuses applications : la production d'eau chaude, le chauffage des maisons, le séchage des récoltes, la réfrigération par absorption pour les bâtiments, la production de très haute température.

II.2.3.5 Energie géothermique :

Les centrales géothermiques utilisent la chaleur de nappes d'eau souterraine dans les zones géographiques spécifiques. Cette chaleur est soit directement utilisée, soit convertie en énergie électrique grâce à des turbines et alternateurs. La taille typique des centrales géothermiques varie de 5 à 50 MW.

II.3. Réseaux électriques intelligents ou smart grid

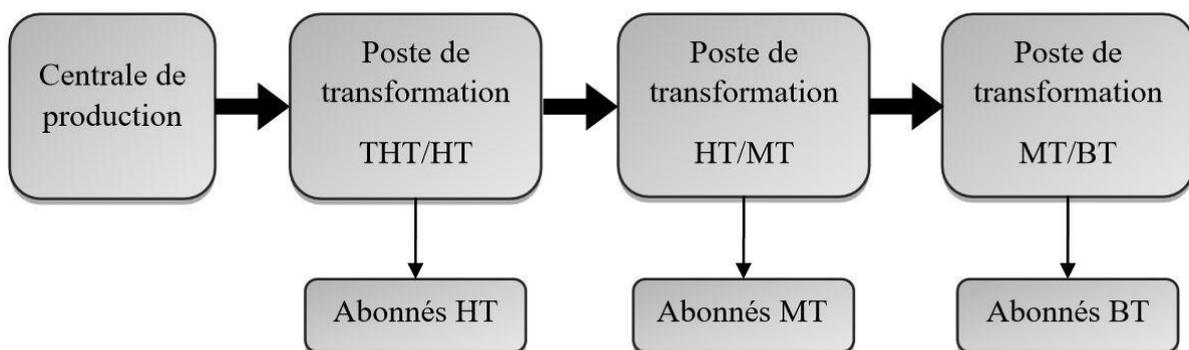
Les réseaux électriques actuels sont inéluctablement destinés à connaître une profonde mutation dans les prochaines années. En effet, dans un contexte de développement

d'énergies renouvelables intermittentes et probablement diffuses, de développement de nouveaux usages électriques et de nécessité d'optimiser l'efficacité des réseaux, il faudra continuer à assurer le meilleur équilibre possible entre la production et la consommation. La solution à ces difficultés est l'utilisation des nouvelles infrastructures dite Smart Grid (réseau électrique intelligent).

II.3.1. Réseau électrique

Un réseau électrique est l'ensemble des composantes requises pour produire, transporter, et distribuer l'énergie électrique de la source (générateur) à la charge (consommateur). Cet ensemble comprend des transformateurs, des lignes de transmission, des réactances, des condensateurs, des moyens de mesure et de contrôle, des protections contre la foudre ... ; autrement dit, un réseau électrique est l'ensemble des infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production (centrales électriques), vers les consommateurs d'électricité.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production transport-consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble



FIGUREII-1 : STRUCTUREGLOBALEDURÉSEAUÉLECTRIQUE.

II.3.2. Architectures des réseaux électriques

La conception et l'utilisation de chaque architecture du réseau électrique permettent d'atteindre plus ou moins une grande disponibilité de l'énergie électrique. Le coût économique du réseau dépend naturellement de sa complexité. Le choix d'une architecture de réseau est donc un compromis entre des critères techniques et économiques. En fonction de la densité et de la nature des unités de production, un réseau aura une architecture semblable à celle de la figure II.2.

Nous pouvons noter que les unités de production peuvent être raccordées aux différents étages selon la puissance mise en jeu. Les transformateurs jouent un rôle très important pour passer d'un niveau de tension à un autre donc pour passer d'un type de réseau à un autre.

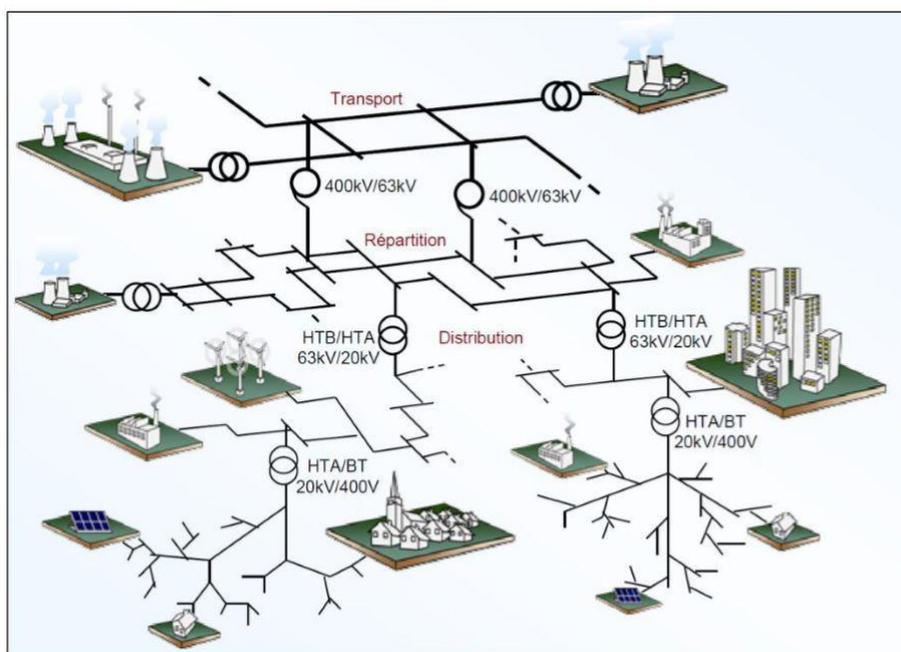


FIGURE II-2 : ARCHITECTURE D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE AVEC DIVERSES SOURCES DE PRODUCTION.

II.3.3. Différents types de réseaux électriques

Les réseaux électriques sont partagés en trois types, qui sont représentés sur la figure II.3 :

- Le réseau de transport.
- Le réseau de répartition.
- Le réseau de distribution.

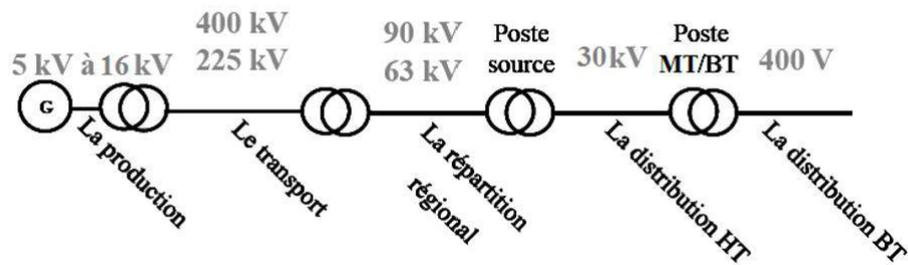


FIGURE II-3 : SCHÉMA SIMPLIFIÉ D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE

II.3.4. Définition des réseaux électriques intelligents

Il existe actuellement plusieurs définitions des réseaux électriques intelligents et également plusieurs objectifs pour une même définition des réseaux électriques intelligents. Toutefois, l'ensemble des définitions s'accorde à dire que la communication bidirectionnelle est une des clés des futurs réseaux intelligents.

A. Définition 1

La dénomination d'un réseau de distribution d'électricité dit « intelligent » est celui qui utilise des technologies informatiques de manière à optimiser la production, la distribution, la consommation et qui a pour objectif d'optimiser l'ensemble des mailles du réseau d'électricité qui va de tous les producteurs à tous les consommateurs afin d'améliorer l'efficacité énergétique et la qualité de l'énergie de l'ensemble.

B. Définition 2

Le Software Engineering Institut de l'université de Carnegie Mellon définit le smart grid, ou réseau intelligent, comme un terme utilisé pour se référer à un réseau électrique dont les

opérations sont passées d'une technologie analogique à l'utilisation d'une technologie numérique intégrée permettant la communication, la détection, la prévision et le contrôle.

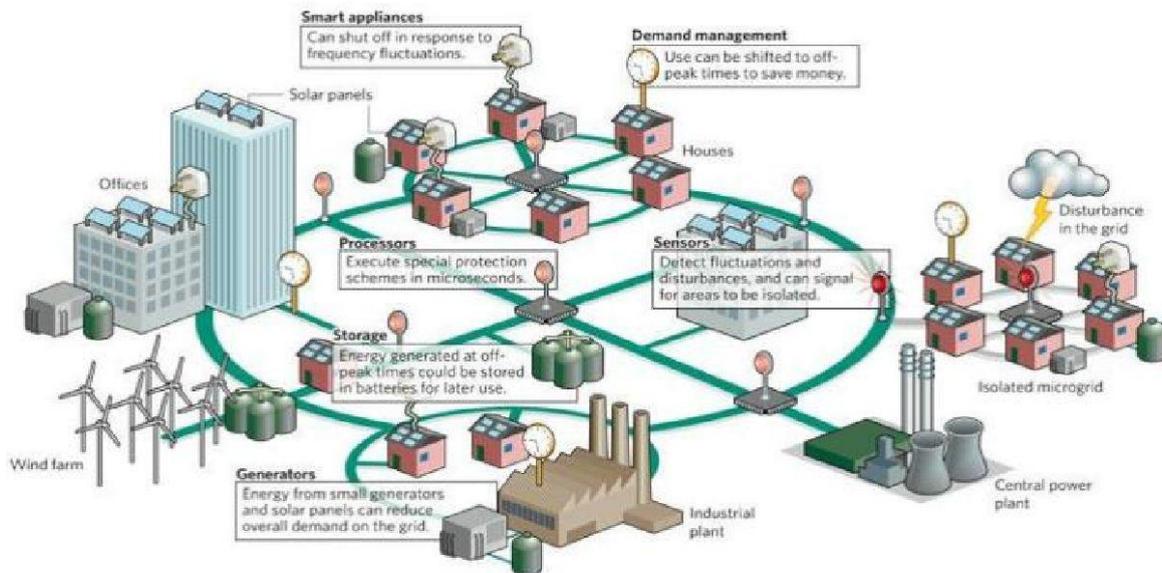


FIGURE II-4: EXEMPLE DE RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS

II.3.5. Enjeux

Le développement des réseaux électriques intelligents représente un certain nombre d'enjeux :

A. Un Enjeu

Industriel Avec l'adaptation des matériaux et technique actuels nécessaire à cette nouvelle intelligence. En accédant à ce réseau innovant ; il est primordial d'assurer la fonctionnalité de tous les éléments qui y ont un rôle ; et donc développement modifications ; améliorations et arrangement sont nécessaire en vue d'un usage conforme.

B. Un Enjeu social

Ceci par l'implication des consommateurs dans la gestion de leur consommation grâce aux (compteurs intelligents). L'utilisateur interagit donc avec le réseau intelligent : une nouvelle notion prend alors tout son sens : celle de consommateur.

C. Un Enjeu économique

Par la coopération nouvelle entre les grands acteurs économiques de ce secteur de le l'électricité modernisé. Et par le rôle de l'état dans développement des réseaux électriques intelligents en tant que service public.

D. Un Enjeu environnementale

Par l'intégration de nouvelles formes d'énergies renouvelables et surtout décentralisés : également par la réduction au maximum des impacts sur le changement climatique et les perturbations qui touchent l'environnement.

II.3.6. Comparaison des réseaux classiques et des réseaux électriques intelligents

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques qui distingues les réseaux électriques classique et les réseaux électriques intelligents.

TABLEAU III-2 : COMPARAISON DES RÉSEAUX CLASSIQUES ET DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE INTELLIGENT.

caractéristiques	Réseaux électrique	Réseaux électrique intelligent
Participation des consommateurs	Les consommateurs ne sont pas informés et ne participent	Les consommateurs ne sont pas informés et potentiellement actifs
Intégrations de source et de système de stockage	Dominé par le producteur d'énergie centralisée	Déploiement d'un grand nombre de producteurs distribués
Nouveaux produit services et marchés	Limité, peut d'intégration du marché pour les consommateurs	Grande intégration du marché, augmentation de l'utilisation du marché de l'énergie pour le consommateur
Qualité de l'énergie	Centrée sur les pannes réponse lente aux problèmes de gestion d'actif	Priorité sur la qualité de l'énergie avec une grande variété de qualité et de prix rapide résolution de problème
Optimisation des actifs	Peu d'intégration des données opérationnelles de gestion d'actifs	Nombreuse acquisition de données élargies et des paramètres du réseau.
Auto cicatrisation	Prévention pour réduire l'impact des dégâts en se concentrant sur la protection des infrastructures suite à une panne	Détection automatique et correction des problèmes centrés sur la prévention pour minimisé l'impact sur le consommateur
Résistance aux attaques	Très vulnérables aux attaques	Résistance aux attaques avec restaurations rapides en cas de problèmes

II.3.7. Intérêt du réseau intelligent

Sachant que l'électricité ne peut pas être stockée facilement, rapidement et économiquement en grandes quantités, les technologies du « réseau intelligent » cherchent à ajuster en temps réel la production et la distribution (offre et demande) de l'électricité en hiérarchisant les besoins de consommation selon leur urgence afin de :

- Optimiser le rendement des centrales ;

- Éviter d'avoir à construire régulièrement de nouvelles lignes ;
- Minimiser les pertes en ligne ;
- Optimiser l'insertion (aléatoire) de la production décentralisée, en particulier d'origine renouvelable ;
- Diminuer ou éliminer les problèmes liés à l'intermittence de certaines sources (solaires, éolien, énergie marémotrice, et à moindre titre hydroélectricité).

II.3.8. Objectifs principaux du réseau électrique intelligent

Nous pouvons définir l'objectif principal associé à ses réseaux, comme spécifiées par le U.S. Département of Energies National Energie Technologie Laboratoire dans sa stratégie pour un réseau moderne. Un réseau électrique intelligent se doit :

- De faire participer de façon active les consommateurs,
- D'accueillir l'ensemble des générateurs (centralisés ou non) et des systèmes de stockage (comme les véhicules électriques),
- De permettre de nouveaux produits, services et marchés,
- D'offrir une qualité d'énergie pour supporter l'économie numérique,
- D'optimiser l'utilisation de l'existant et de fonctionner efficacement,
- D'anticiper et de répondre à des perturbations sur le système,
- De résister aux attaques ou aux catastrophes naturelles.

II.3.9. Les caractéristiques du réseau électrique intelligent :

II.3.9.1 Fiabilité :

Le réseau intelligent fera usage de technologies qui améliorent la détection des erreurs et permettent l'auto-guérison du réseau sans l'intervention de techniciens. Cela permettra d'assurer un approvisionnement plus fiable en électricité, et de réduire la vulnérabilité aux catastrophes naturelles ou des attentats.

II.3.9.2 La flexibilité dans la topologie du réseau :

La nouvelle génération de transmission et de distribution sera mieux en mesure de gérer les flux d'énergie possibles bidirectionnels, permettant la génération distribuée comme des panneaux photovoltaïques sur le toit des bâtiments. Mais aussi l'utilisation de piles à combustible. La charge ces / vers les batteries des voitures électriques. L'érosion, l'énergie hydroélectrique pompée et d'autres sources.

II.3.9.3 L'efficacité :

De nombreuses contributions à l'amélioration globale de l'efficacité de l'infrastructure énergétique sont prévues à partir du déploiement de la technologie smart grid, y compris la gestion de la demande

II.3.9.4 Réglage de la charge :

La charge totale connectée au réseau électrique peut varier considérablement au fil du temps. Imaginez l'augmentation de la charge. Si une émission de télévision populaire commence et des millions de téléviseurs fonctionnant instantanément traditionnellement pour répondre à une augmentation rapide de la consommation d'énergie plus vite que le Temps de démarrage d'un générateur, certains générateurs de secours sont mis sur un mode veille dissipatif un réseau intelligent peut avertir tous les téléviseurs individuellement, ou un autre plus grand nombre de clients, de réduire la charge temporairement (pour permettre à un générateur d'avoir plus de temps pour démarrer) ou en continu (dans le cas de ressources limitées).

II.3.9.5 La durabilité

La flexibilité accrue du réseau intelligent permet une plus grande pénétration de très variables sources d'énergies renouvelables telles que l'énergie solaire et l'énergie éolienne même si certains aliments et sont autorisés au niveau local (la distribution), l'infrastructure

du niveau de transport ne peut pas l'accueillir. Les fluctuations rapides de la production distribuée, comme dues à un temps nuageux ou en rafales.

II.3.10. Types de réseaux intelligents :

On peut distinguer trois catégories de démarches "réseaux intelligent"

II.3.10.1 Au Niveau des gestionnaires de réseaux de transport (GRT)

Il s'agit d'améliorer le télé-contrôle, la surveillance (Security analysais, etc.) et la planification (prévision des contingences, etc.). Il s'agit de poursuivre une évolution entamée de longue date en utilisant les progrès technologiques pour faire face aux nouveaux besoins de transport, notamment suite à l'apport en réseaux de la production décentralisée de puissance réduite et moins « gérable » par le responsable d'équilibre et de sécurité réseaux.

II.3.10.2 Au niveau des gestionnaires de réseaux de distribution (GRD) :

Le développement de la production décentralisée impose aux gestionnaires de réseaux de distribution de mettre en place des technologies qui étaient aujourd'hui essentiellement utilisées dans le réseau de transport télé-contrôle, protections bidirectionnelles, gestion d'équilibre. Il s'agit d'accélérer l'installation de technologies disponibles de longue date. Cette évolution est facilitée par la baisse du cout de ces technologies.

II.3.10.3 Au niveau local :

Le changement le plus important pourra voir le jour l'apport de l'électronique de l'informatique et des télécommunications ouvre de nouveaux horizons à la gestion de la consommation et de la production local ce domaine spécifique s'appelle « smart home » ou plus généralement « smart consumer »

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu le concept des smart cities et smart grids. Dans le chapitre suivant nous allons voir comment les SIG peuvent aider à intégrer l'énergie solaire dans les villes intelligentes.

Chapitre III. Les SIG au service de l'énergie solaire

III.1. Introduction

L'énergie solaire offre des potentiels très différents en fonction de la zone géographique où l'on se trouve. L'exposition du site, la hauteur du soleil, le temps, la saison, la nébulosité du ciel et le climat sont des critères à étudier pour les projets d'implantation de capteurs solaires.

La transformation de l'énergie solaire peut se faire par la lumière ou la chaleur, de sorte qu'on distingue l'énergie solaire thermique de l'énergie solaire photovoltaïque. Ces énergies solaires sont de plus en plus intégrées dans les projets d'architecture bioclimatique (maisons solaires, serres, murs collecteurs, fermes solaires, etc.).

III.2. Apport des SIG

Les SIG permettent entre autres de diagnostiquer le potentiel énergétique d'une région en utilisant des outils dédiés tels que le calcul de rayonnement solaire (point ou surface), la création de graphiques de rayonnement ou bien encore de gérer et d'analyser des zones d'éligibilité.

En intégrant des données géographiques, on peut, par exemple, effectuer des études d'évaluation environnementale, ou d'évaluation des coûts, créer des outils cartographiques pour la prospection foncière et des applications de soutien pour les permis de construire.

III.2.1. L'analyse SIG pour optimiser l'activité solaire

Un problème intéressant qui peut être résolu par un SIG 3D concerne l'analyse du rayonnement solaire. En fonction de la surface du terrain, de la pente et du contexte des objets présents localement, le calcul du rayonnement solaire utilise des données 3D et des algorithmes. En combinant des rayonnements diffus, directs et indirects, le SIG permet de calculer la quantité d'énergie reçue à un point donné et à une date ou heure donnée.[12]

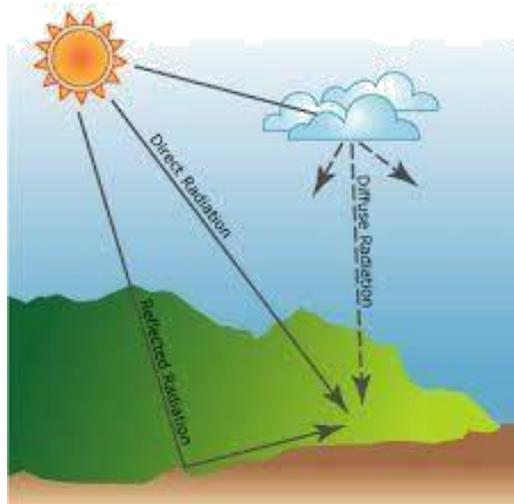


FIGURE III-1 : LERAYONNEMENTSOLAIRE

III.2.2. Localisation des sites potentiels

Pour trouver les sites présentant un potentiel élevé d'implantation des fermes solaires ou les structures urbaines les plus favorables à l'installation de panneaux solaires, les solutions SIG permettent d'effectuer des analyses spatiales en 2D et en 3D.

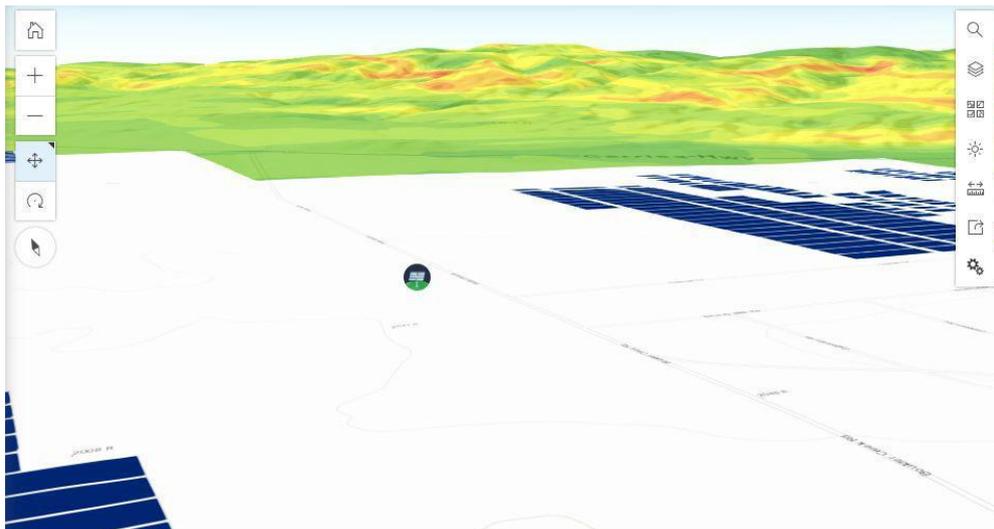
Il est également possible de mettre en cohérence avec les analyses des données de nature différente comme les données sur les risques naturels, les réseaux électriques, les réseaux routiers, les normes environnementales...

L'intérêt est de croiser toutes les données géographiques qui aidèrent à trouver l'emplacement optimal pour choisir les installations.

Déterminer les caractéristiques souhaitées d'un emplacement approprié pour l'implantation de panneaux solaires exige que des caractéristiques souhaitables soient définies. Pour cette étude, le site approprié devrait avoir les caractéristiques suivantes :

- **Une orientation des pentes appropriée** : ces dernières doivent être orientées Sud/Sud-Ouest. En effet, dans la mesure où le site est situé dans l'hémisphère nord, les panneaux solaires installés sur les pentes orientées Sud auront une puissance d'énergie solaire supérieure à celles situées sur des pentes orientées Nord.

- **Pente appropriée** :la pente doit être inférieure à 35 degrés. Cette norme peut varier selon le type d'équipement solaire, la nature du terrain et la législation qui y est appliquée.
- **Rayonnement élevé** :Le site devrait recevoir, en moyenne, au moins une quantité minimum de rayonnement solaire par an. Cette valeur est déterminée par l'analyste.



FIGUREIII-2 : IMPLANTATIONDESPANNEAUXSOLAIRES
LOCALISERUNSITEPOTENTIELDEFERMESOLAIRE

Le choix d'implantation d'une ferme solaire au-delà de la collecte d'énergie pose également la question de sa transformation, de son acheminement à des centrales équipées pour la stocker et la redistribuer à des foyers de consommation. Cela suppose donc d'identifier les structures à proximité permettant son transport. Les SIG permettent de croiser les informations de transport d'électricité avec le potentiel solaire des zones, afin de bien choisir les meilleures localisations de fermes solaires.[12]

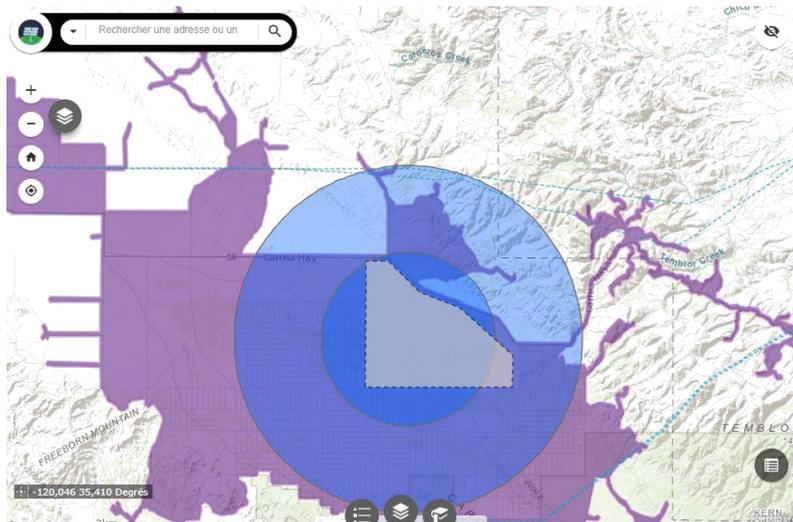


FIGURE III-3 : ZONED' ACCESSIBILITÉ AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE DEPUIS UNE FERME SOLAIRE

La Figure III-3 illustre la disponibilité des lignes à haute tension regroupées par capacité de voltage, afin d'évaluer la possibilité de connecter le site potentiel à un réseau électrique.

III.2.3. Calcul du potentiel solaire en milieu urbain

Dépendant de la surface du terrain, de la pente et du contexte des objets présents localement, le calcul du rayonnement solaire en milieu urbain fait appel à des données et des algorithmes 3D. En combinant les rayonnements diffus, directs et indirects un SIG 3D permet de calculer la quantité d'énergie reçue en un point ou une surface particulière (en Wh / m²) et à une date à une heure donnée.

Le rendu de ces analyses se présente bien souvent sous forme de cadastre solaire particulièrement utile lorsqu'il s'agit pour une commune, une agglomération ou encore un département de fournir à leurs administrés des informations sur le potentiel solaire et la quantité d'énergie reçue par leur habitation.

En lien avec les capacités de modélisation des rayonnements solaires, un SIG 3D peut également répondre aux problématiques d'analyse d'ombres portées. L'idée est de pouvoir générer les volumes correspondant à la zone d'ombre provoquée par un ou plusieurs objets 3D pour une date ou heure donnée.[12]

Calculées à différentes dates de l'année ou différentes heures de la journée, ces ombres portées peuvent ensuite être croisées et intersectées avec d'autres entités du SIG comme les façades des bâtiments voisins ou bien des terrains propices à l'implantation de panneaux solaires.

III.3. Evaluation du potentiel solaire en utilisant les SIG

III.3.1. Les données utilisées

L'évaluation du potentiel solaire d'un quartier ou même d'une ville entière et la définition des configurations urbaines à l'aide d'outils d'optimisation solaire se basent sur une grande variété de données. Un défi majeur concerne donc la manière de compiler les données nécessaires, à savoir :

- A. Les données du cadastre
- B. La structure en trois dimensions des immeubles
- C. Les conditions météorologiques qui affectent les rendements solaires.

Des informations complémentaires concernant les paramètres d'installation de systèmes solaires, outre le rayonnement incident (arrêtés de protection des bâtiments, conditions structurelles, surface minimale disponible, données socioéconomiques, etc.) sont nécessaires pour évaluer le potentiel solaire.

A. Les données du cadastre

Le cadastre de la ville est géré par l'autorité locale chargée de l'élaboration et de la mise à jour de ces données. Dans certains cas, les données utilisées dans ce cadastre proviennent de vues aériennes pouvant être prises en même temps que la collecte de données lidar (télédétection par laser). La création de ce modèle est complétée par une évaluation photographique, qui est essentielle pour valider les résultats du modèle. Les données lidar et la cartographie SIG sont généralement fournies par les autorités locales ou d'autres organismes publics. Ces données sources peuvent être utilisées pour créer un modèle numérique de terrain (MNT) de la ville grâce à un logiciel SIG.[13]

B. La structure en trois dimensions des immeubles

La méthode lidar constitue une possibilité pour développer un modèle numérique de surface local. Grâce à ce modèle, il est possible d'identifier l'inclinaison de chaque toit, l'orientation et les effets d'ombre des bâtiments voisins ainsi que d'autres obstacles architecturaux, et de les combiner à des données sur le rayonnement diffus et réfléchi pour évaluer le rayonnement solaire annuel disponible de chaque bâtiment.

Ajouter à cela il est nécessaire d'ajouter des données vectorielles des bâtiments en 3D pour calculer le potentiel solaire des façades et des toitures.

C. Les conditions météorologiques qui affectent les rendements solaires

Par temps nuageux, les panneaux produisent moins d'énergie car ils reçoivent moins de lumière. Cependant, l'impact que cela peut avoir sur l'efficacité de l'installation est souvent surestimé : de légers nuages ne privent pas d'une grande quantité d'énergie.

Un peu de brouillard peut avoir un effet bénéfique sur les panneaux solaires. En effet, ces derniers fonctionnent mieux lorsque maintenus à basse température. Grâce au refroidissement des panneaux, le rendement peut être plus élevé qu'à l'issue d'une journée chaude et ensoleillée.

L'accumulation de poussière sur les panneaux solaires peut aussi être néfaste. La poussière peut vite se retrouver sur les panneaux, ce qui peut réduire significativement leur efficacité. D'un autre côté les tempêtes, la neige et la grêle affecte aussi le rendement des panneaux solaires.[14]

III.3.2. Méthodologie de réalisation

L'adaptation de la méthodologie au SIG utilisé par la municipalité locale est préférable, pour les raisons suivantes :

1. Les données spatiales et non spatiales peuvent être reliées aux cartes de la ville ;

2. Des analyses spatiales peuvent être réalisées pour évaluer le potentiel solaire urbain ;
3. Le logiciel SIG facilite la gestion de grandes quantités de données géoréférencées ;
4. Les résultats obtenus par le logiciel SIG sont présentés dans des cartes numériques, ce qui génère des informations utiles pour les urbanistes.[14]

III.3.3. Identification du potentiel solaire

III.3.3.1 Identifier le potentiel solaire à l'échelle de la ville

□ Méthodologie

Une méthodologie possible permettant de créer des cartes du potentiel solaire consiste à utiliser les vues aériennes avec les données lidar. Ces données d'entrée permettent de définir l'altimétrie d'une surface grâce à la création d'un MNT. Ce modèle est ajusté au cadastre et se compose d'une grille de données relatives à l'orientation et l'inclinaison associées à chaque point d'intersection. Une fois créé, un outil d'analyse solaire SIG doit être utilisé pour déterminer le rayonnement incident sur les bâtiments, en tenant compte des paramètres solaires spécifiques pour l'analyse locale et les effets d'ombre des zones voisines, qui peuvent réduire la disponibilité solaire.

D'autres paramètres, tels que les données structurelles, les arrêtés de protection des bâtiments classés et les surfaces disponibles doivent être étudiés afin d'identifier les limites à l'installation de systèmes solaires. Les cartes finales doivent non seulement tenir compte du rayonnement incident, mais aussi d'autres paramètres spécifiquement détectés pour chaque zone urbaine.

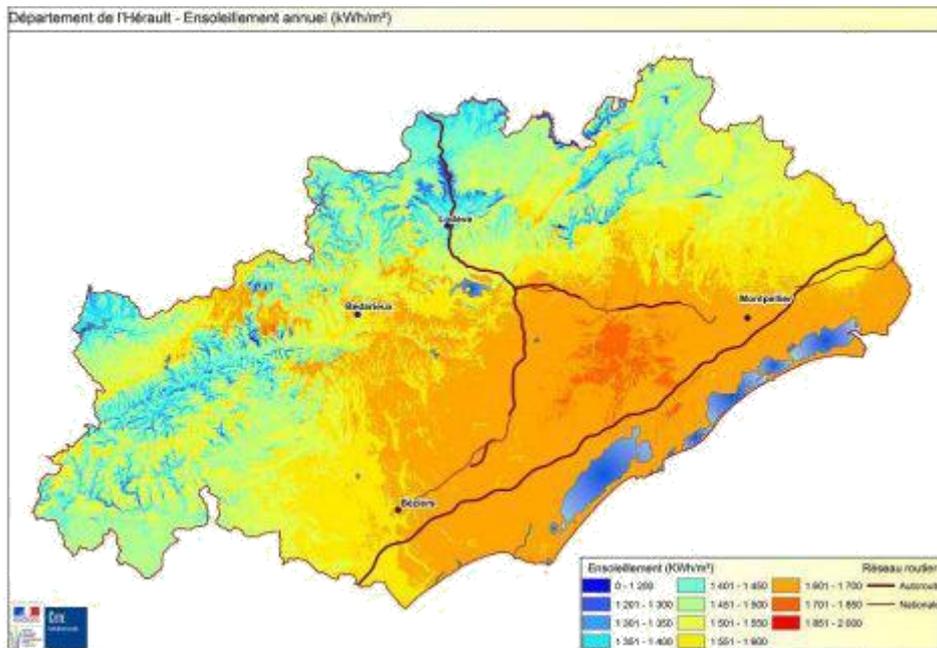


FIGURE III-4 : EXEMPLE D'ÉVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE D'UNE VILLE

□ Outils utilisés :

Les outils nécessaires à l'identification du potentiel solaire des villes sont :

- La disponibilité des données lidar et les informations cadastrales à jour sont une condition préalable pour créer un MNT de la ville ;
- La combinaison d'un MNT et d'un logiciel SIG d'analyse solaire est une méthode appropriée pour les zones étendues en raison du degré élevé d'automatisation du processus
- Il est essentiel de sélectionner un outil dynamique pour présenter et vérifier le potentiel solaire.

Les outils SIG actuellement disponibles sur le marché permettent une compréhension globale du rayonnement solaire disponible, ce qui n'était pas le cas il y a quelques années. Par exemple, il est maintenant possible d'établir un lien entre différents tissus urbains et le potentiel solaire associé, ainsi qu'entre la typologie des bâtiments et la disponibilité solaire. Par conséquent, un examen typologique des bâtiments est nécessaire. Cette évaluation est différente pour chaque ville, même si les typologies et les méthodologies peuvent être

identifiées et soumises aux mêmes critères d'évaluation. L'examen typologique est nécessaire pour déterminer les contraintes pratiques de l'installation de panneaux.

Les points de départ à l'évaluation du potentiel solaire d'une ville sont les suivants :

- Des informations numériques à jour sur les bâtiments de la ville ;
- Des vues aériennes avec données GPS si la méthodologie se base sur la création d'un MNT ;
- Un projet d'aérotriangulation pour les photos aériennes ;
- La disponibilité d'une base de données d'images pour évaluer/valider les résultats ;
- La définition du système coordonné pour le résultat.

□ Aspects financiers

En général, les coûts de cette activité dépendent de la superficie de la ville ainsi que de la quantité et de la qualité des données d'entrée nécessaires pour créer le MNT.

La valeur ajoutée réelle apportée par l'analyse du potentiel solaire de la ville dans la mobilisation des besoins potentiels identifiés doit être coordonnée avec le marché solaire afin que ces acteurs puissent bénéficier de cet instrument pour sensibiliser davantage les citoyens, les investisseurs et d'autres parties prenantes concernées.

□ Principaux résultats

L'évaluation du potentiel solaire d'une ville est un outil essentiel pour définir la stratégie énergétique de celle-ci, car il permet de fixer les objectifs et de définir les politiques sur la base d'une analyse quantifiée du rôle potentiel des technologies solaires dans la matrice énergétique de la ville. Cette évaluation peut et doit être détaillée au moyen d'une étude financière afin de choisir les meilleurs modèles économiques à associer à la stratégie de développement, en créant des incitations basées sur la productivité escomptée, les investissements associés, les périodes de rentabilité et les modèles d'exploitation.

En tant qu'outil de communication, la création de cartes de potentiel solaire pour l'ensemble de la ville peut être étudiée de manière approfondie car elles présentent une image forte de

la capacité d'une ville d'utiliser ses propres ressources de sensibiliser ses parties prenantes (des décideurs jusqu'aux acteurs du marché et citoyens individuels). Une telle initiative est en mesure de créer un intérêt important pour les technologies solaires et d'encourager l'organisation d'initiatives locales.

III.3.3.2 Identifier le potentiel solaire à l'échelle d'un bâtiment ou du quartier

Le concept d'écoquartiers et de quartiers durables a émergé de manière plus nette au début du XXI^e siècle. Ce développement urbain emblématique a fait entrer dans les discussions sur le développement urbain l'importance et la réalisation possible de quartiers durables : il a cherché à réduire la demande énergétique des habitants et à baser la production d'énergie sur les technologies renouvelables afin de réduire l'incidence des modes de vie citadins dans l'ensemble. Pour y parvenir, l'évaluation et l'intégration des technologies solaires étaient indispensables en tant qu'éléments d'une approche intégrée des besoins énergétiques de la zone, mais également en tant qu'éléments de construction (de l'architecture solaire aux technologies solaires actives pouvant être intégrées dans le bâtiment). En outre, le concept du « zéro énergie » fait du solaire la technologie prioritaire à intégrer dans l'enveloppe d'un bâtiment en tant que partie active de la construction. Cela concerne non seulement les bâtiments neufs, mais aussi les travaux de rénovation permettant d'intégrer les systèmes solaires dans le parc existant, et remplissant un vaste ensemble de fonctions en plus de la simple production d'énergie.

□ Objectifs :

Le potentiel de l'énergie solaire dans les bâtiments et les quartiers peut être calculé et analysé à l'aide de modèles en 3D pour les bâtiments. Ces modèles :

- Augmentent la sensibilité des citoyens à l'énergie solaire et à son potentiel ;
- Stimulent l'intérêt des investisseurs dans des projets spécifiques ;
- Suscitent l'intérêt pour accroître l'utilisation de l'énergie solaire, même chez les urbanistes.



FIGURE III-5 : EXEMPLE D'ÉVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE DES TOITURES DE BÂTIMENTS

Par conséquent, l'évaluation du potentiel solaire dans les quartiers ou les bâtiments est :

- Un instrument d'urbanisme lorsqu'il s'agit de redéfinir les objectifs et possibilités de requalifications d'un quartier ;
- Un outil essentiel pour définir le projet de requalification d'une zone ou d'un bâtiment existant ;
- Également un outil important pour évaluer les bâtiments existants lorsque les schémas de consommation sont connus, de sorte que la contribution solaire peut immédiatement être prévue compte tenu des besoins existants (électricité et eau chaude domestique) ;
- Potentiellement un important stimulant pour le marché ;
- Très important pour dynamiser le secteur des renouvelables.

□ Méthodologies

1. La première étape :

Consiste à compiler toutes les données existantes pour la zone ou le bâtiment. La méthodologie appropriée doit être choisie sur la base des données disponibles (et des contraintes financières existantes).

Une cartographie très détaillée (incluant les données de hauteur) doit être fournie pour analyser les éléments de chaque bâtiment (toits et façades). Le rayonnement incident sur les éléments du bâtiment est calculé en tenant compte des pertes dues à l'orientation, l'inclinaison et l'ombrage de ces éléments, ainsi que les données structurelles, la surface disponible et les ordonnances de protection.

Pour calculer le potentiel solaire actif (photovoltaïque et solaire thermique), le rayonnement annuel global et (pour le calcul du potentiel solaire passif) le rayonnement solaire direct durant la période non chauffée sont calculés.

Les données sources (cartographie, données des bâtiments, etc.) doivent être fournies par l'autorité locale.

Le partenaire technique doit concevoir et mettre en œuvre une méthodologie appropriée adaptée à la situation spécifique dans la zone en question (législation locale, données structurelles, données climatiques, arrêtés de protection, etc.) :

- **Le potentiel solaire photovoltaïque** : est calculé pour les toits comme pour les façades.
- **Le potentiel solaire thermique** : n'est calculé que pour les toits. Afin d'estimer ce potentiel, les objectifs de production d'eau chaude et de chauffage sont fixés pour chaque bâtiment selon son utilisation, sa taille, le nombre d'occupants et les caractéristiques de l'enveloppe thermique. Les informations concernant le nombre de capteurs solaires nécessaires pour fournir la part solaire annuelle doivent être calculées (méthode f-chart).
- **Le potentiel solaire passif** : n'est calculé que pour les façades. Le rayonnement solaire direct sur ces façades est estimé pendant les quatre heures autour du midi solaire (de 12 à 16 heures) pour la période non chauffée et il est par conséquent différent pour chaque ville.

2. Deuxième étape :

Une analyse climatique doit être effectuée pour identifier la période non chauffée, à partir de laquelle le rayonnement annuel global et le rayonnement direct durant la période non chauffée sont calculés.

Les éléments du bâtiment doivent être étudiés en détail et au cas par cas. Suite à cette analyse, le potentiel solaire actif et passif est calculé et repris dans trois cartes différentes : le potentiel solaire photovoltaïque, le potentiel solaire thermique et le potentiel solaire passif.

□ Outils utilisés :

Concernant les outils d'évaluation du potentiel solaire des bâtiments et des quartiers, il est essentiel de :

- Intégrer les entrées/apports solaires passifs, notamment le potentiel des façades ;
- Tenir compte de la structure du bâtiment et de sa capacité réelle de recevoir des systèmes solaires (c'est-à-dire les zones minimales pour le solaire thermique) ;
- Evaluer le potentiel des façades ;
- Associer un outil dynamique afin de présenter les résultats de l'évaluation du potentiel solaire.

□ Aspects financiers

Dans les quartiers, les actions dépendront de l'approche et du degré de détail, ainsi que de la taille et de la complexité de la zone, ce qui signifie que les coûts peuvent nettement varier. En général, les coûts varient selon la taille du quartier (superficie), ainsi que de la quantité et de la qualité des données d'entrée nécessaires à l'obtention des informations en 3D relatives au quartier.

□ Principaux résultats

Cet instrument peut être utilisé pour plusieurs objectifs, à savoir pour susciter l'intérêt dans la possibilité d'accroître l'utilisation de l'énergie solaire et étudier différentes zones d'un bâtiment afin de les classer selon leur potentiel.

Techniquement, les principaux résultats de l'identification du potentiel solaire dans les bâtiments et les quartiers sont les suivants :

- Des recommandations pour du solaire passif en réhabilitation et nouvelles constructions ;
- Des cartes d'évaluation du potentiel solaire thermique et photovoltaïque ;
- Une base de données contenant des informations détaillées sur le potentiel solaire de chaque élément structurel ;
- Un document d'accompagnement décrivant la méthodologie développée, son application et des recommandations pour mobiliser le potentiel solaire identifié.

L'identification du potentiel solaire dans les bâtiments et les quartiers peut avoir les effets suivants :

- Permettre la définition d'une stratégie énergétique pour le quartier, basée sur le potentiel réel et la compatibilité des ressources ;
- La possibilité de définir des exigences légales sur le recours à l'énergie solaire, par le biais d'ordonnances solaires, de dispositifs de soutien et d'incitations ;
- Développer des instruments communs de sensibilisation compréhensibles par toutes les parties prenantes (citoyens, professionnels et industries associées au secteur de l'énergie solaire et de la construction).

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu comment les SIG peut servir à l'énergie solaire. Nous avons aussi vu comment ils permettent la localisation des fermes solaires et la prédiction du rayonnement solaire dans une région donnée. Dans le chapitre suivant nous aborderons la méthodologie que nous appliquerions pour effectuer notre étude.[15]

Chapitre IV. Méthodologie

IV.1. Introduction

La réalisation d'un SIG 3D pour simuler le potentiel solaire dans une smart city nécessite des étapes à suivre pour arriver au résultat.

Dans ce chapitre de méthodologie nous allons expliquer les différentes méthodes suivies pour la réalisation des différentes analyses 3D ainsi que la description de notre zone d'étude.

IV.2. Problématique

Notre objectif, est d'analyser le potentiel solaire de la région d'El Hchem dans la wilaya de Mostaganem. De détecter les zones où il est le plus rentable d'installer des panneaux solaires, pour une éventuelle intégration de cette énergie dans le réseau électrique d'une ville intelligente.

Pour cela, nous utilisons les SIG 3D, qui nous permettront de modéliser la zone d'étude et de simuler les analyses 3D qui permettent d'identifier les bâtiments dont les toitures sont adaptées à l'installation des panneaux solaires.

Nous commencerons par réaliser un SIG 2D où nous intégreront toutes les données nécessaires à la réalisation de notre étude, puis nous concevrons le SIG 3D.

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

Notre zone d'étude se situe dans la région d'El Hchem à l'Est de Mostaganem. Cette région a bénéficié d'un nouveau projet de construction. Le Plan d'Occupation du Sol de cette région recouvre une superficie de 170 ha.



FIGUREIV-1 : LOCALISATIONDENOTREZONED'ÉTUDE

La zone d'étude contient un ensemble de récentes constructions, des bâtiments résidentiels et des bâtiments administratifs. Au total, cette zone contient 424 bâtiments résidentiels et 17 équipements publics.

IV.4. Définition des données :

Pour la réalisation de notre travail, nous avons utilisé un ensemble de données attributaires et spatiales :

Données vecteur :

- Un plan Autocad de la région d'étude sur lequel nous nous sommes basés pour obtenir les différentes couches thématiques de notre SIG. Parmi ces couches il y a les couches : Bâtiments, zones, Ilots, POS, Parcelle...

□ Les données Raster :

- Images satellites d'une très haute résolution fournies par ESRI.
- Un modèle numérique de terrain MNT fourni d'une très haute résolution par ESRI et un MNT SRTM d'une résolution de 30 m.

□ Données attributaires

- Des données attributaires ont été ajoutées aux couches thématiques tel que la hauteur des bâtiments, leur vocation, le nombre d'étage.

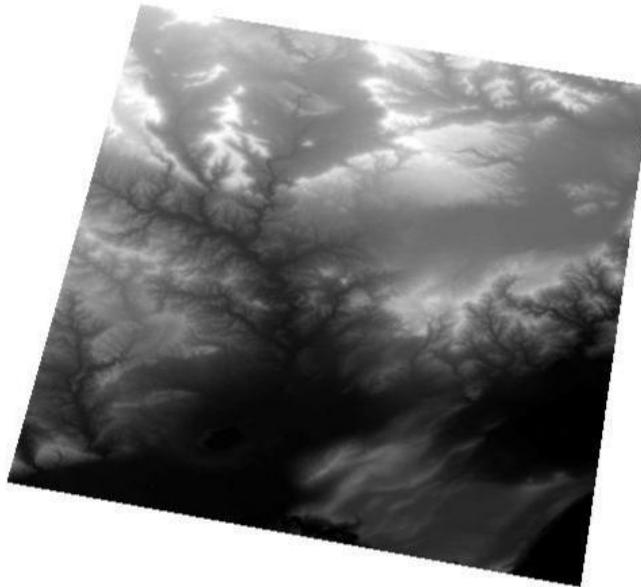


FIGURE IV-2 : MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN DE LA RÉGION D'ÉTUDE

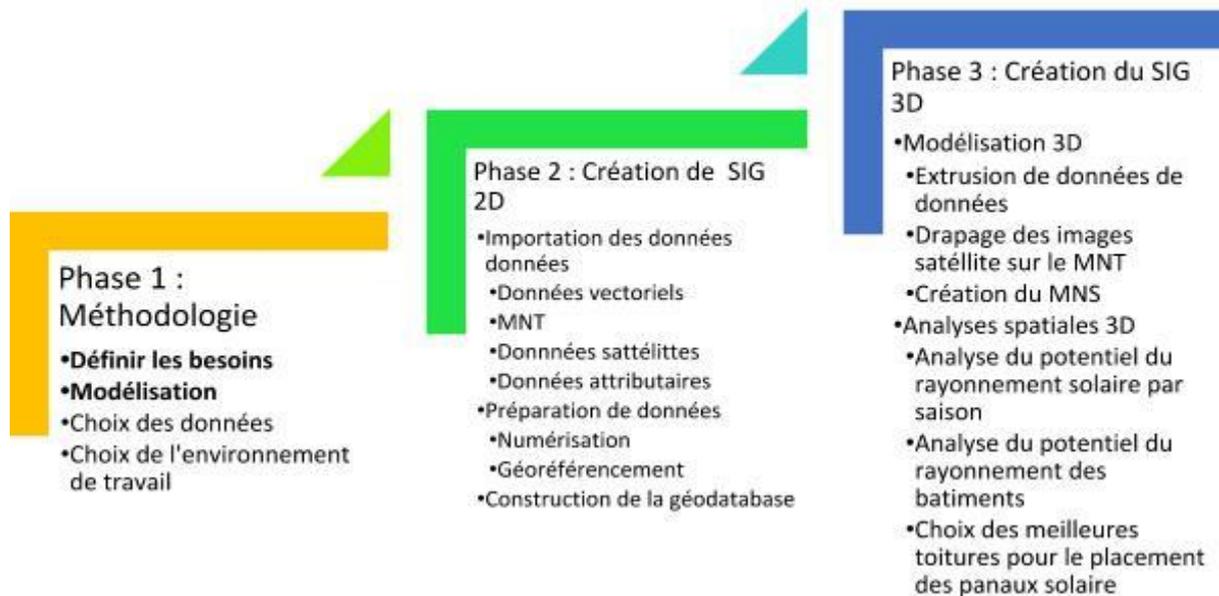
IV.5. Environnement de travail

Nous avons réalisé notre travail sur un environnement SIG ArcGIS. Le SIG 2D a été réalisé avec ArcGIS Desktop 10.8, le SIG 3D et les analyses spatiales ont été réalisées avec ArcGIS pro 2.4.

- **ArcGIS Desktop** : est le logiciel SIG le plus performant sur le marché, il contient toutes les fonctionnalités SIG standards ainsi que des extensions pour des SIG métiers. Il est composé de quatre modules : ArcMap, ArcCatalog, ArcScene, ArcGlobe.
- **ArcGIS Pro** : Il regroupe toutes les fonctionnalités SIG d'ArcGIS dans le même environnement. Il permet le partage des données spatiales sur un environnement web.

IV.6. Phases de réalisation

Dans cette partie, nous exposons le processus que nous avons suivi pour réaliser notre projet.



FIGUREIV-3 : PHASESDELARÉALISATIONDERÉALISATIONDUPROJET

La première étape de ce processus, consiste à définir la méthodologie, choisir les données et les différents outils d'analyse. La deuxième étape est consacrée à la réalisation du SIG 2D. La troisième étape est consacrée à la conception du SIG 3D et à la réalisation des analyses spatiales.

IV.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la méthodologie que nous allons suivre. Le cinquième chapitre dédié à l'expérimentation où nous allons présenter les résultats de notre étude.

Chapitre V. Expérimentation

V.1. Introduction

Notre objectif dans ce chapitre est de construire un SIG 3D pour simuler et estimer le potentiel solaire dans une ville intelligente

V.2. Réalisation du SIG 2D

Pour la réalisation du SIG 2D,

Nous avons d'abord, ajouter les différentes couches géographiques pour constituer la base de données relative à notre zone d'étude, et créer ainsi le SIG 2D.

A. Intégration des données

Pour construire notre SIG 2D, nous avons utilisé ArcGIS desktop 10.8 avec ArcCatalog pour organiser les données et ArcMap pour numériser les couches spatiales.

- **Importation des données**

Les données ont été importées à partir de plan Autocad . Ces plans contiennent la plupart des données relatives à la cité intelligentes. Nous avons converti ces données en format SIG.

- **Préparation des données**

- **Le traitement des données**

Nous avons ensuite géoréférencé les données importées et nous avons corrigé l'ensemble des erreurs de numérisation.

- **La numérisation :**

Un ensemble de couches thématiques n'étaient pas présentes dans le plan Autocad, nous avons donc numérisé ces couches d'information et compléter ainsi notre base de données.

□ La construction de la base de données

Nous avons ensuite, construit notre géodatabase sous ArcGIS, en classant les données par groupe thématiques afin de faciliter leur intégration dans ArcGIS pro pour construire le SIG 3D.

La figure suivante illustre les couches thématiques sous ArcGIS Desktop.

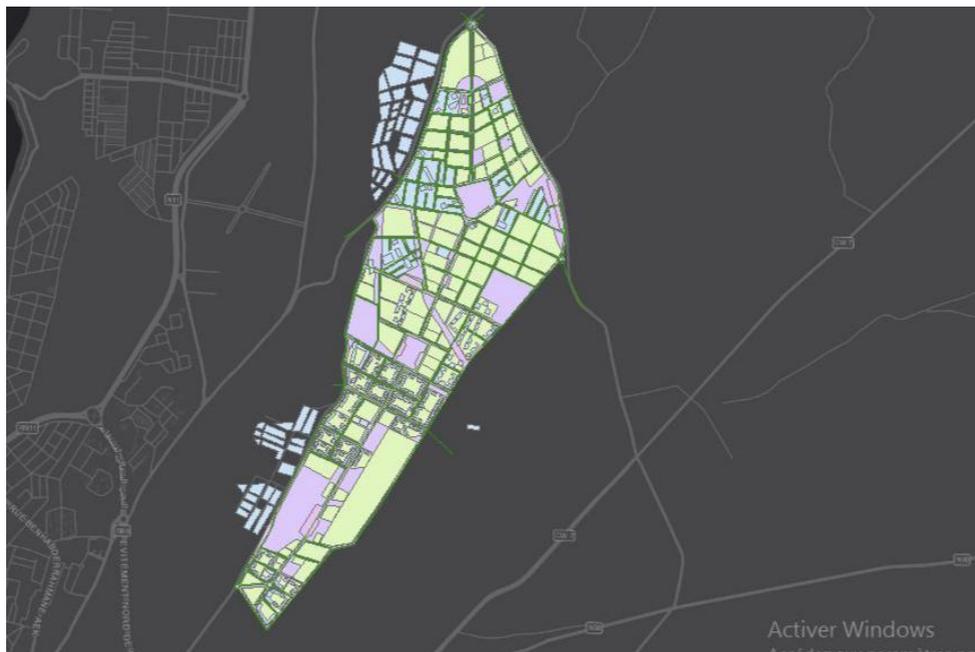
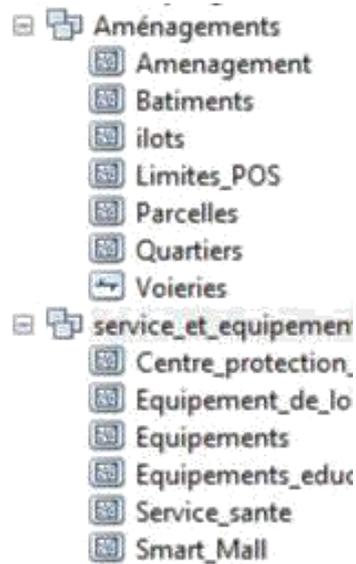


FIGURE V-2: DONNÉES SPATIALES DE LA BASE DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUE

La figure suivante montre le contenu de la base de données spatiale



FIGUREV-4 : ORGANISATIONDES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

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.



V.3.1. Analyses spatiales 3D

Notre objectif est de calculer le rayonnement solaire dans notre région d'étude. Nous commençons par calculer l'ensoleillement uniquement en prenant en compte le relief. Pour cela, Nous avons utilisé un MNT d'une résolution de 30m.

▪ Calcul de l'ensoleillement sur la zone d'Hchem en prenant en compte le relief

Nous avons d'abord calculé l'ensoleillement pour les quatre saisons en considérant un ciel clair. Nous avons obtenu les résultats présentés dans la figure suivante, Les résultats sont exprimés en watts heure par mètre carré (WH/m²) :

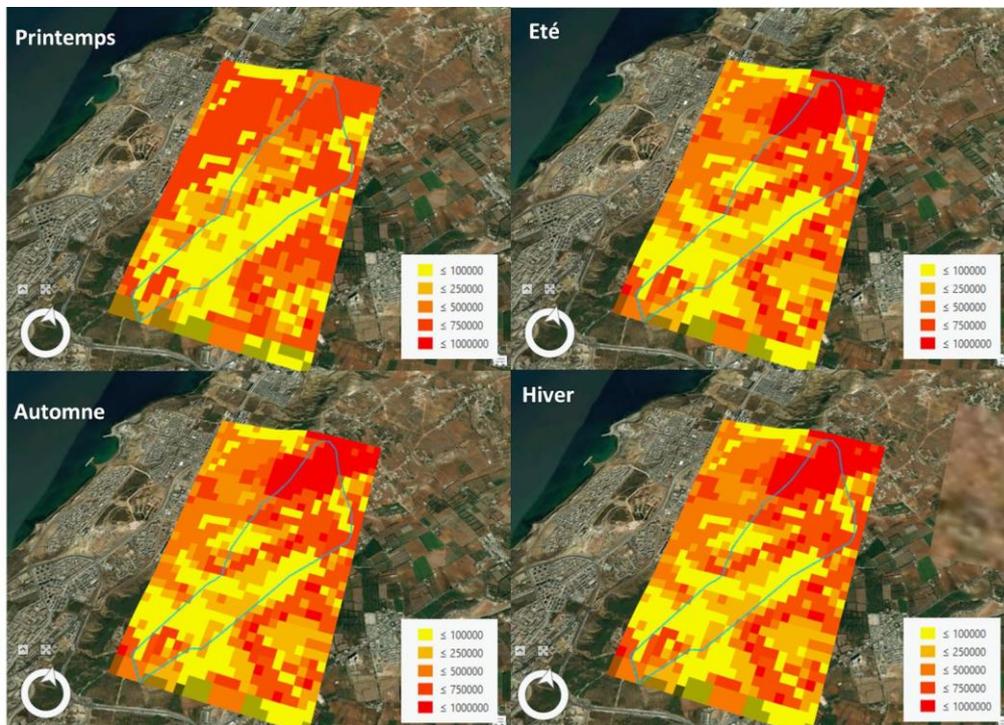


FIGURE V-6: CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE PAR SAISON PAR PARCELLE COUVERTE STANDARD

Ensuite, nous avons calculé l'ensoleillement sur la zone d'El Hchem, en prenant en considération la couverture standard du ciel.

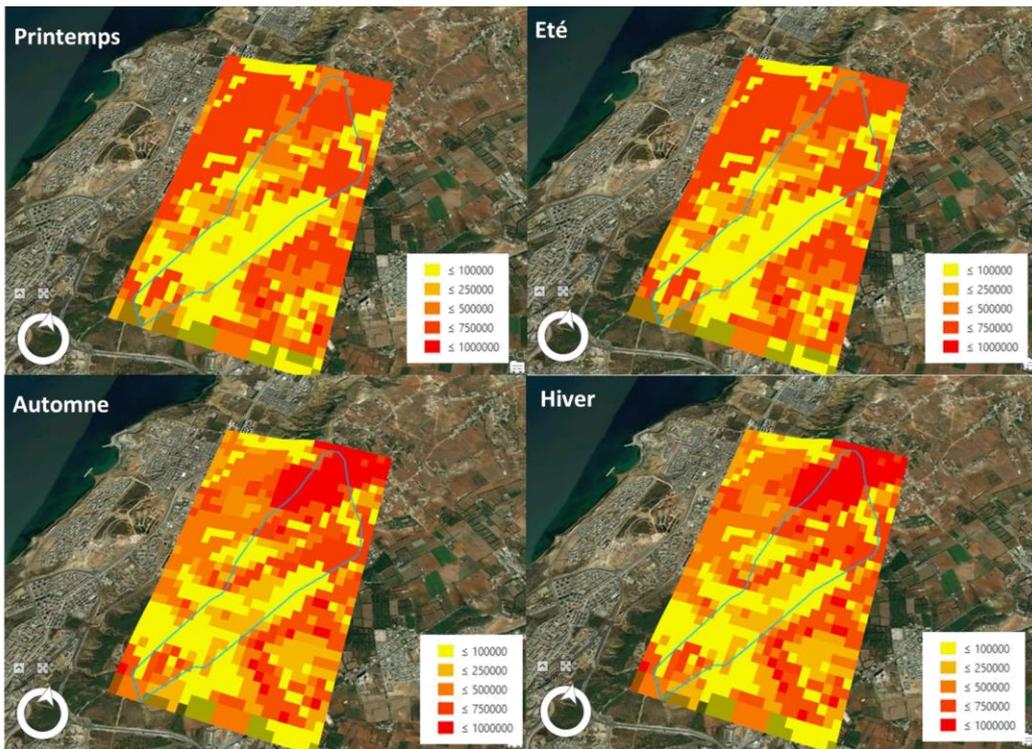


FIGURE V-7: CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE PAR SAISON PAR CIEL COUVERT UNIFORME

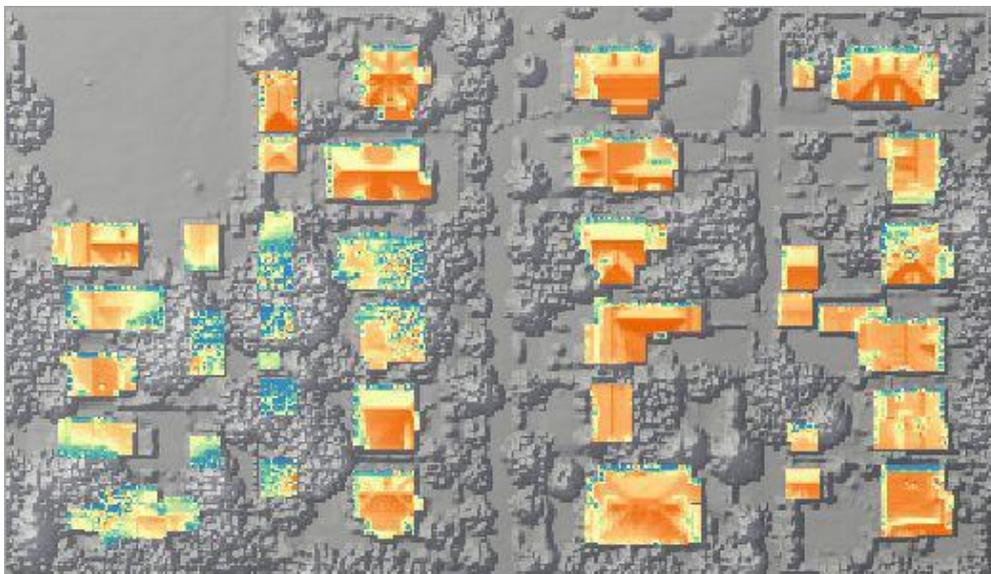
- **Cartographier l'énergie solaire annuelle selon l'emprise des bâtiments**

Nous avons ensuite calculé le rayonnement solaire selon l'emprise des bâtiments, pour nous focaliser sur les toitures où il serait possible d'installer des panneaux solaires.



FIGUREV-8 : CALCUL DURAYONNEMENTSOLAIRE SELON L'EMPRISE DES BÂTIMENTS

La figure suivante, nous donne un aperçu sur les résultats.



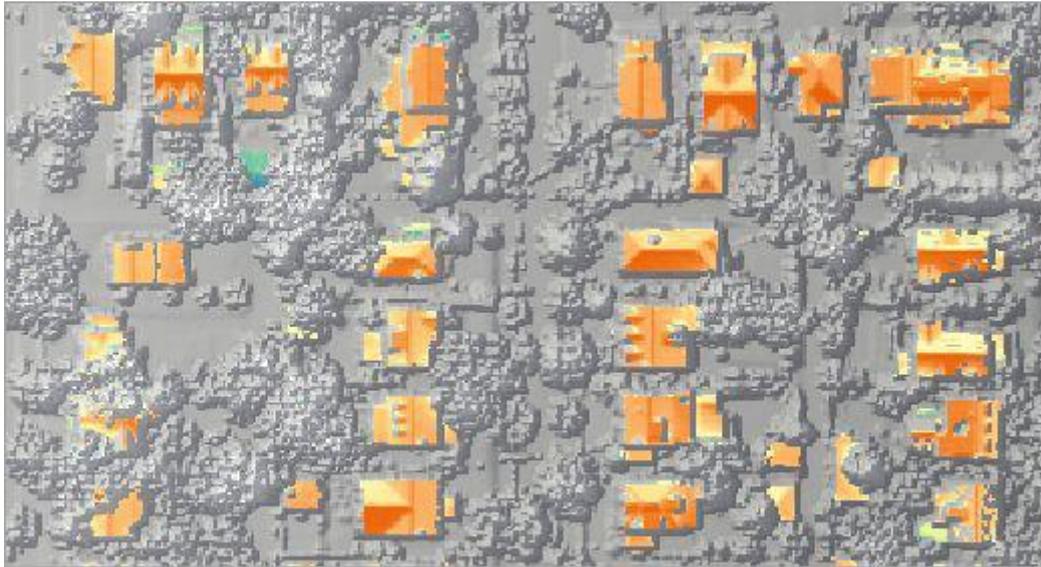
FIGUREV-9 : CALCUL DURAYONNEMENTSOLAIRE SUR LES TOITURES DES BÂTIMENTS DE LA ZONE D'ÉTUDE

- **Identification des toitures de bâtiments appropriées pour l'installation de panneaux solaires**

Pour identifier les toitures appropriées pour des panneaux solaires, nous avons choisi les critères suivants :

- Les toitures appropriées doivent recevoir au moins 800 kWh/m² de rayonnement solaire par an.
- Les toitures appropriées ne doivent pas être orientées vers le nord car, dans l'hémisphère nord, ces toitures reçoivent moins d'ensoleillement.

Pour atteindre cet objectif, nous avons recours à l'algèbre spatiale. Le résultat de cette analyse est présenté dans la figure suivante :



FIGUREV-10 : SELECTION DESTOITURESPOUVANTRECEVOIRDESPANNEAUXSOLAIRES

Après avoir sélectionner les toitures de bâtiments pouvant recevoir des panneaux solaires, nous ajoutons les valeurs du potentiel de production électrique de chaque bâtiment à notre couche thématiques 3D. La figure suivante illustre les bâtiments en 3D pouvant recevoir les panneaux solaires.



FIGUREV-13: REPRÉSENTATION3D DESBÂTIMENTSPOUVANTRECEVOIRDESINSTALLATIONDEPANNEAUXSOLAIRES

V.4. Conclusion

Le dernier chapitre est un chapitre qui traduit notre partie pratique théorique, dans ce chapitre, nous avons vu le concept de la modélisation des SIG 3D orienté Smart City et l'analyse du rayonnement solaire. Nous avons créé notre géodatabase et nous avons importé notre carte de la zone d'étude puis nous avons intégré nos données sur ArcGIS pour créer un SIG 2D. Enfin nous avons réalisé un prototype de SIG 3D qui nous a permis d'identifier les bâtiments pouvant recevoir des panneaux solaires.

Conclusion générale

L'objectif principal de ce mémoire est de réaliser un SIG 3D et d'étudier l'intégration des énergies renouvelables dans les villes intelligentes. Ceci nécessite d'abord la localisation du potentiel énergétique des villes et l'intégration de cette énergie dans le réseau électrique.

Dans ce mémoire, nous nous sommes contentés d'étudier la localisation du potentiel énergétique solaire dans la région d'El Hchem à l'Est de Mostaganem.

La partie théorique de ce mémoire a été consacrée à la définition de certains concepts en relation avec notre travail, tels que les SIG 3D, les smart cities et les énergies renouvelables.

La partie méthodologique a explicité le processus suivi pour atteindre nos objectifs. Alors que la partie expérimentale a été consacrée à définir les données et l'environnement utilisés, le processus suivi pour la réalisation du SIG 2D et la réalisation du SIG 3D.

Ce prototype SIG 3D a permis de modéliser la région d'étude en trois dimensions. Nous avons utilisé pour cela un MNT et des données vectorielles extrudées.

Nous avons ensuite appliqué des analyses spatiales qui ont permis d'estimer le potentiel de rayonnement solaire de la région à différentes périodes de l'année. Ces analyses ont aussi permis d'identifier les toitures de bâtiments les plus propices à recevoir des panneaux solaires.

Nous aurions aussi voulu, ajouter à ce travail une étude consacrée à l'intégration de l'énergie solaire dans le réseau électrique actuelle. Cependant, la tâche a été très complexe et les conditions de réalisation de ces mémoires ont limité nos objectifs.

Il serait donc très souhaitable, de réaliser une étude complète, permettant de tirer profit du potentiel énergétique globale d'une ville intelligente et d'intégrer ces énergies dans le réseau électrique de la ville.

Bibliographie

- [1] Pornon, H. (2015). *SIG: la dimension géographique du système d'information*. Dunod.
- [2] Trébuchon, J. F. (1997). Rapport de mission. Mise en place du Système d'information Géographique pour le Schéma Directeur d'Approvisionnement de Bamako et Ségou.
- [3] Eveno, E. (2004). La géographie de la société de l'information: entre abîmes et sommets. *NETCOM: Réseaux, communication et territoires/Networks and communication studies*, 18(1), 11-87.
- [4] <https://www.esrifrance.fr/raster.aspx>, consulté avril 2020
- [5] Bordin, P. (2002). *SIG: concepts, outils et données*. Hermès Science Publications.
- [6] Rialle, V. (2017). Villes intelligentes sources d'inspiration.
- [7] Giffinger, R., Haindlmaier, G., & Kramar, H. (2010). The role of rankings in growing city competition. *Urban Research & Practice*, 3(3), 299-312.
- [8] Giffinger, R., & Gudrun, H. (2010). Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities?. *ACE: architecture, city and environment*, 4(12), 7-26.
- [9] Giffinger, R., & Gudrun, H. (2007). Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities?. *ACE: architecture, city and environment*, 4(12), 7-26.
- [10] Giffinger, R., & Pichler-Milanović, N. (2007). *Smart cities: Ranking of European medium-sized cities*. Centre of Regional Science, Vienna University of Technology.
- [11] Ameziane, S. (2009). *Implantation expérimentale de l'MPPT pour un système de génération hybride solaire-éolien* (Doctoral dissertation, univ-bouira. dz; Université Bouira; univ bouira).
- [12] Mambrini, T. (2014). *Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies* (Doctoral dissertation, Paris 11).
- [13] Faessler, J. (2010). Evaluation du potentiel solaire en milieu urbain: essais d'application aux toitures du canton de Genève.
- [14] Diaz, K. A. (2016). *Étude multi-échelle des transferts de chaleur et de masse appliquée à un bâtiment parisien rénové, en condition météorologique normale et en période de vague de chaleur* (Doctoral dissertation).
- [15] Chénard, L. (2014). *Évaluation des apports solaires à l'échelle d'un quartier urbain en période de chauffe selon sa typologie, son orientation et sa latitude dans un contexte de densification de la ville* (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).

