



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM



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

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**  
**Option : Ingénierie des Systèmes d'Information**

**THEME :**

**IoT, BIM et SIG au service des Smart Cities**

Etudiant(e) : Bendjelloul Nouredine

Encadrant(e) : MIDOUN MOHAMMED

Année Universitaire 2020-2021

## Résumé

Le concept des smart cities ou villes intelligentes connaît un succès qui ne se dément pas, ces dernières proposent une gestion plus efficiente et démocratique au bénéfice des usagers et de la collectivité. Toutefois ses risques et limites apparaissent déjà. Car, bardée de capteurs de données censés améliorer nos vies urbaines, la smart city est aussi un fantastique vecteur potentiel de surveillance. Les systèmes d'information géographique, l'IoT et les building information model proposent une fondation pour les villes intelligentes au plan structurelle, évolutif et environnemental. Notre objectif est de réaliser une étude qui englobe ces différents axes.

**Mots-Clés :** Iot, SIG, BIM, Smart City, mobilité urbaine intelligente

## Abstract

The concept of smart cities or smart cities is enjoying continued success; they offer more efficient and democratic management for the benefit of users and the community. However, its risks and limits are already apparent. Because, packed with data sensors supposed to improve our urban lives, the smart city is also a fantastic potential vector of surveillance. Geographic information systems, IoT and building information models provide a foundation for structurally, evolving and environmentally smart cities. Our objective is to carry out a study which encompasses these different axes.

**Keywords:** Iot, GIS, BIM, Smart City, smart urban mobility

## ملخص:

يحظى مفهوم المدن الذكية أو المدن الذكية بنجاح مستمر. أنها توفر إدارة أكثر كفاءة وديمقراطية لصالح المستخدمين والمجتمع. ومع ذلك، فإن مخاطرها وحدودها واضحة بالفعل. نظرًا لأنها مليئة بأجهزة استشعار البيانات التي من المفترض أن تعمل على تحسين حياتنا الحضرية، فإن المدينة الذكية هي أيضًا ناقل محتمل رائع للمراقبة. توفر أنظمة المعلومات الجغرافية وإنترنت الأشياء ونماذج معلومات البناء أساسًا للمدن الذكية من الناحية الهيكلية والمتطورة بيئيًا. هدفنا هو إجراء دراسة تشمل هذه المحاور المختلفة.

**الكلمات المفتاحية:** المدينة الذكية، التنقل الحضري الذكي

## Liste des abréviations

<b>Abréviation</b>	<b>Expression Complète</b>
BIM	Building Information Model
CDE	Common data environment
COBie	Construction Operations Building Information Exchange
IFC	Industry Foundation Class
IOT	Internet of things
LEED-ND	Leadership in Energy and Environmental Design Neighborhood Development
MNE	Modèle Numérique d'Elévation
MNS	Modèle Numérique de Surface
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NFC	Near-field communication
SIG	Système d'information géographique
TIC	Technique D'information et de la Communication

## Liste des figures

Figure N°	Titre de la figure	Page
Figure 1	Raster vs Vector	15
Figure 2	Différents niveau de BIM	19
Figure 3	Architecture de l'internet des objets	23
Figure 4	Zone d'étude	29
Figure 5	Diagramme de classe	32
Figure 6	Phase de réalisation du projet	33
Figure 7	Représentation de la base de données sur Arcis Pro	36
Figure 8	Importation de données dans la DB SIG	36
Figure 9	Vue 2d de la FSEI (Infrastructure des bâtis)	37
Figure 10	Vue 2D de la FSEI (SIG - BIM - IOT)	37
Figure 11	Convertir une Map en une scène 3d	38
Figure 12	Calcul automatique des élévations des bâtis	38
Figure 13	Configuration de l'extrusion	39
Figure 14	Vue 3D Outdoor	39
Figure 15	Vue 3D Indoor (afficher les différent départements et salles)	40
Figure 16	Activation d'analyse Cam 3D	40
Figure 17	Configuration des paramètres des camera	41
Figure 18	Application de l'analyse spatial (camera)	42
Figure 19	Capteurs d'humidité représentés en 2D	43
Figure 20	Application de l'analyse thermique sur les capteurs d'humidité	43
Figure 21	Analyse 3D de température	44
Figure 22	Comparatif humidité / température	44

## ***Table des matières***

Introduction générale .....	5
Chapitre 1 : Revue bibliographique .....	7
1.1 Introduction .....	7
1.2 Smart city .....	7
1.2.1 Concept D'une ville intelligente .....	7
1.2.2 Axes d'une ville intelligente .....	8
1.3 Système d'information géographique .....	12
1.3.1 Définition et concept .....	12
1.3.2 Les composants d'un SIG .....	13
1.3.3 Fonctionnalité d'un SIG .....	14
1.3.4 SIG au service des Villes Intelligente .....	15
1.4 Building information modeling .....	18
1.4.1 Définition .....	18
1.4.2 Différents niveaux du BIM .....	19
1.4.3 Apport BIM au ville intelligente .....	21
1.5 L'internet des objets .....	22
1.5.1 Définition .....	22
1.5.2 Architecture de l'internet des objets .....	22
1.5.3 Apport de l'IoT aux smart cities .....	24
1.6 Intégration SIG et BIM .....	25
1.7 Intégration SIG et IoT .....	26
1.8 Conclusion .....	27
Chapitre 2 : Méthodologie .....	28
2.1 Introduction .....	28
2.2 Description de la zone d'étude .....	28
2.3 Description de l'environnement de travail .....	29
2.3.1 ArcGis PRO .....	29
2.3.2 AutoCAD .....	30
2.4 Définition des données .....	30
2.4.1 Données SIG .....	30
2.4.2 Données CAD .....	31
2.4.3 Données IoT .....	31
2.5 Modélisation de la base de données .....	31

2.6	Phases de réalisation du projet .....	33
2.7	Conclusion.....	34
Chapitre 4 : Implémentation et réalisations .....		35
3.1	Introduction .....	35
3.2	Acquisition de données .....	35
3.3	Traitement et intégration des données.....	35
3.4	Construction du SIG 2D.....	37
3.5	Construction du SIG 3D.....	38
3.7	Conclusion.....	45
Conclusion générale.....		46
Bibliographie.....		47

# Introduction générale

Pendant ces dernières décennies, les nouvelles technologies ont changé le monde de manière irréversible dans plusieurs secteurs. Le domaine d'urbanisme lui aussi n'a cessé d'évoluer au fil du temps, le croisement de ces deux derniers a engendré ce qu'on appelle aujourd'hui les villes intelligentes. Ces dernières visent à un développement durable par une gestion optimale des ressources et du potentiel, offrant une meilleure qualité de vie pour la population urbaine croissante. Ce concept de smart city est fondamentalement mis en œuvre par les Systèmes d'Information Géographique (SIG), la modélisation des informations de la construction et l'internet des objets.

Les Building Information Model (BIM) sont actuellement devenus une tendance dans le secteur de construction. Ces derniers permettent une visualisation réelle anticipée sur les différents axes en relation avec l'immobilier pour assurer une meilleure planification, conception, construction et surtout des améliorations économiques de coûts et de ressources.

D'un autre côté, les SIG fournissent un cadre informatique qui intègre tous les aspects des processus de la ville intelligente (de la conceptualisation, de la planification et du développement à la maintenance).

L'internet des objets (IoT) offre de nombreuses initiatives au Smart Cities. Elle donne la possibilité de surveiller, gérer et contrôler à distance les appareils, et de créer de nouvelles perspectives et des informations exploitables à partir de flux massifs de données en temps réel. Les principales caractéristiques d'une ville intelligente comprennent un degré élevé d'intégration des technologies de l'information et une application complète des ressources d'information.

L'avènement de l'Internet des objets a permis la diffusion de données géographiques et le développement des nouveaux processus de génération et de gestion de représentations numériques.

Notre objectif est de réaliser une étude approfondie sur les résultats engendrés par l'intégration des différents concepts BIM, SIG et IOT sur les villes intelligentes, et leur apport dans la vie quotidienne des citoyens d'une part et sur le niveau pré conceptuel dans la sélection. Dans un deuxième temps, nous nous focaliserons sur la réalisation d'une simulation sur le site de

la faculté en intégrant les données SIG, BIM et IOT du site. Nous concevrons ensuite un model 3D et nous réaliserons des analyses spatiales sur ce dernier.

Ce document comporte dans son premier chapitre, une étude bibliographique du thème étudié. D'abord, nous définirons tous les concepts en relation avec les villes intelligentes. Ensuite nous réaliserons une description approfondit sur les axes qui impactent les smart cities. En commençant par définir les systèmes d'information géographique, leurs composant (logiciel, matériel, méthodes ...etc.) et leurs fonctionnalités. Dans la partie des building information model, nous introduisant ce concept et ses différents niveaux, en dernier, nous finaliserons notre étude avec l'internet des objets en décrivant son concept, son architecture et son rôle critique au près des villes intelligente.

Le deuxième chapitre, est consacré à la présentation de la méthodologie suivie pour réaliser notre projet.

Le troisième et dernier chapitre, se focalisera sur l'implémentation et la réalisation de notre projet, qui consiste à réaliser un SIG 3D intégrant les données BIM, IoT et SIG et permettra de réaliser un certain nombre d'analyses 3D sur le site de la faculté FSEI.

Nous finirons par une conclusion générale qui récapitulera le contenu de ce mémoire et proposera des perspectives à notre travail.

# Chapitre 1 : Revue bibliographie

## 1.1 Introduction

Chaque jour, de nombreuses personnes passent des zones rurales aux zones urbaines, ce qui entraîne un ensemble unique de défis d'une part pour les personnes qui cherchent à améliorer leur qualité de vie, et d'autre part, pour les autorités locales qui cherches à gérer efficacement les opérations de management. Ces opérations sont liées au bien-être de la pollution, à la gestion du trafic ainsi qu'à l'utilisation efficace de ressources énergétiques rares.

Dans ce chapitre, nous répondons à ce besoin en proposant une étude détaillée sur les différents axes et concepts qui sont liés aux villes intelligentes. Nous nous focalisons plus précisément sur les Systèmes d'Information Géographiques (SIG), les Building Information Model (BIM) et l'internet des objets (IoT). Ensuite nous définiront les diverses intégrations de ces technologies entre elles tout en décrivant leur apport aux villes intelligentes [1].

## 1.2 Smart city

L'infrastructure de la ville attire un nombre croissant de personnes qui recherchent les avantages de l'urbanisation par rapport aux modes de vie ruraux traditionnels dans de nombreux contextes culturels. Actuellement, la performance urbaine ne dépend pas seulement de la dotation en infrastructures matérielles de la ville, mais de plus en plus, sur la disponibilité et la qualité de la communication des connaissances et des infrastructures sociales. Le concept de « ville intelligente » a récemment été introduit comme dispositif stratégique pour englober les facteurs de production urbains modernes dans un cadre commun, et en particulier, souligner l'importance de l'information et des technologies émergentes.

### 1.2.1 Concept d'une ville intelligente

Les villes intelligentes mettent les données et la technologie numérique à leur service pour prendre de meilleures décisions et améliorer la qualité de vie. Des données plus complètes et en temps réel permettent aux agences de suivre les événements au fur et à mesure de leur déroulement, de comprendre comment les modèles de demande évoluent et de répondre avec des solutions plus rapides et moins coûteuses.

Une ville intelligente est donc une ville dans laquelle une suite de capteurs (généralement des centaines ou des milliers) sont déployée pour collecter des données électroniques auprès des personnes et des infrastructures, et sur celles-ci afin d'améliorer l'efficacité et la qualité de vie. Les résidents et les employés de la ville, à leur tour, peuvent recevoir des applications qui leur permettent d'accéder aux services de la ville, de recevoir et de publier des rapports sur les pannes, les accidents, de payer les taxes, les frais, etc. Dans la ville intelligente, l'efficacité énergétique et la durabilité sont mises en avant.

### **1.2.2 Axes d'une ville intelligente**

La ville intelligente repose, entre autres, sur des innovations technologiques diverses. Bien que la technologie ne soit qu'un facteur de l'équation d'une ville intelligente, celle-ci doit reposer sur un système permettant d'y greffer différents éléments interconnectés et intelligents qui interagissent entre eux. Par le positionnement stratégique de différents capteurs et d'instruments de mesure disséminés sur un territoire donné. De nombreuses caractéristiques définissent une ville intelligente, ils peuvent varier selon le contexte social dans lequel se situe la ville ou d'autres variables liées à la culture [2].

#### **1.2.2.1 Idéologie gouvernemental et politique publique**

Pour bâtir des communautés intelligentes, les fonctionnaires de tous les niveaux de gouvernement doivent évaluer et mettre en œuvre les meilleures solutions aux problèmes les plus urgents de leurs citoyens. C'est difficile à l'heure actuelle. Que ce soit par défaut ou par conception, il y a un manque de prise de décision globale.

Étant donné que le développement d'une ville intelligente nécessite de briser les silos bureaucratiques et de coopérer entre les institutions municipales et communautaires, un leadership fort et une pensée créative sont nécessaires pour mettre en œuvre des stratégies d'engagement, établir un consensus et mettre en œuvre un plan. Des structures politiques doivent également être mises en place pour permettre et favoriser l'évolution des programmes de villes intelligentes.

#### **1.2.2.2 Régulation**

Les structures réglementaires à tous les niveaux doivent être évaluées et adaptées pour permettre le déploiement et l'adoption de nouvelles technologies et de nouveaux systèmes, tout en garantissant la confiance et la sécurité des personnes concernées. Cela va de la création d'incitations pour les entreprises de toutes tailles à investir dans des technologies de pointe, à la

conception efficace de réglementations qui réduisent les coûts de développement et la vitesse de déploiement.

Cela implique également une attention réglementaire aux risques de confidentialité et de cybersécurité. Tout cela nécessite un certain degré de pérennité pour garantir que la communauté puisse continuer à tirer parti des avantages des progrès technologiques en constante évolution.

### **1.2.2.3 Technologie et innovation**

La technologie est le moteur qui accélère rapidement les villes et les communautés intelligentes. Pas une fin en soi, la technologie, lorsqu'elle est correctement exploitée, facilite la modernisation, mais peut aussi permettre aux villes d'améliorer la jouissance de tout ce que la communauté valorise. Tirer parti des technologies avancées ne signifie pas que tout est nouveau.

Les analyses avancées permettent l'intégration et l'amélioration des systèmes existants. Par exemple, en identifiant les données déjà collectées à d'autres fins et en les utilisant pour prendre des décisions et des opérations, et pour fournir de nouveaux services de manière efficace, innovante et rentable, les budgets limités peuvent être optimisés.

### **1.2.2.4 Télécommunications**

Les appareils, les personnes, les entreprises et le gouvernement doivent tous pouvoir se connecter rapidement et en toute sécurité pour partager des données afin d'améliorer les activités quotidiennes. Une stratégie communautaire intelligente et connectée significative doit envisager comment ouvrir la voie à des réseaux de télécommunications avancés, notamment en préconisant des politiques visant à promouvoir le déploiement d'une infrastructure de connectivité sans fil.

Il doit également faciliter le développement de micrologiciels et de matériel compatible pour répondre aux besoins d'aujourd'hui tout en se réjouissant d'activer les technologies numériques et informatiques de demain.

### **1.2.2.5 Cyber sécurité et confidentialité**

L'interconnectivité crée des risques. De nombreux systèmes existants en brique, en mortier et câblés ont été intentionnellement développés pour être isolés afin de réduire le risque d'intrusion. L'économie numérique dépend cependant de l'interopérabilité connectée.

Les villes et les communautés doivent élaborer des approches qui simultanément atténuent les risques et maximisent l'interconnectivité afin de réaliser des avantages à grande échelle. Cela implique de s'engager avec des chercheurs, des technologues, des décideurs et des parties prenantes pour créer des systèmes qui sont physiquement sécurisés et qui protègent la vie privée tout en permettant la collecte et le partage de données pour concevoir des solutions aux défis éternels et nouveaux auxquels la société est confrontée.

#### **1.2.2.6 Finance, investissement et développement économique**

En raison des avantages variés qui découlent de la modernisation des infrastructures intelligentes, de nombreuses initiatives ne cadrent pas parfaitement avec les budgets municipaux traditionnels ou les modèles de financement.

Il faut de la créativité, ce qui implique d'atteindre tous les secteurs. Le gouvernement, l'industrie et les organisations communautaires ont tous intérêt à faire en sorte que l'approche intelligente fonctionne pour les habitants et peuvent être prêts à investir.

#### **1.2.2.7 Transport et mobilité**

Une infrastructure de transport et de mobilité fiable et efficace relie les gens aux biens, aux services, à l'emploi, aux opportunités et les uns aux autres. Lorsque l'infrastructure de transport est alimentée par une technologie de pointe, d'innombrables avantages sont réalisés: réduction des émissions et de la congestion grâce à l'utilisation généralisée des voitures électriques partagées et des véhicules automatisés; amélioration de la sécurité publique grâce à une surveillance, un rapport et un routage intelligents des intervenants; le développement économique, car les communautés mal desservies sont liées aux opportunités d'emploi et de développement grâce au transport en commun basé sur les données. Il est fondamental pour une économie moderne et florissante.

#### **1.2.2.8 Énergie**

Les villes intelligentes sont des villes électrifiées. La gestion de l'énergie est une composante essentielle de toute stratégie de ville intelligente à des fins de fiabilité, d'efficacité et d'accessibilité. Bien au-delà du remplacement des ampoules, l'efficacité implique des mesures technologiques dynamiques qui permettent à un service public de contrôler l'utilisation ou d'automatiser la conservation.

Il intègre un réseau multidirectionnel et des solutions technologiques avancées qui incluent un large éventail de ressources énergétiques distribuées et une réponse à la demande, ainsi que des moyens rentables d'assurer la fiabilité du service.

#### **1.2.2.9 Eau, eaux usées et déchets**

L'évolution des modèles d'hydrologie et les attentes plus élevées en matière de fiabilité et de qualité des approvisionnements en eau municipaux obligent les villes à examiner de manière critique les ressources en eau et les infrastructures de distribution de la source aux utilisateurs finaux.

Les technologies intelligentes peuvent être utilisées pour surveiller et gérer les systèmes de livraison, améliorer le stockage, le traitement et le recyclage et éduquer le public sur la conservation. Avec l'augmentation de la densité de population, les villes fusionnent également les exigences politiques, les objectifs de durabilité et la technologie pour gérer les eaux usées et les déchets solides.

Les approches des problèmes du recyclage à la gestion à long terme des déchets, la réduction et le traitement, aux externalités telles que les émissions de la flotte et le comportement humain, représentent toutes des opportunités pour des solutions innovantes basées sur les données.

#### **1.2.2.10 Aménagement et bâtiments de la ville et des espaces verts**

Les espaces physiques dans lesquels les résidents vivent, travaillent et jouent sont essentiels. Les bâtiments intelligents qui encouragent la productivité et l'efficacité deviennent des éléments fondamentaux pour des villes et des collectivités plus propres et plus saines.

Les espaces verts urbains sont devenus une composante essentielle de la durabilité et de l'habitabilité, apportant bien plus que l'esthétique aux environnements urbains. Par exemple, les toits verts contribuent à la gestion de l'énergie et de l'eau, tandis que l'agriculture verticale contribue à l'accès à la nourriture.

Les avantages vont de la réduction de la pollution à la lutte antiparasitaire en passant par les conditions du sol et le bien-être physique et mental, de sorte que ces espaces devraient faire partie intégrante de la planification urbaine.

### **1.2.2.11 Environnement, santé et sécurité**

La durabilité, la sécurité publique et la santé sont des préoccupations politiques essentielles pour les dirigeants communautaires et les résidents qui devraient être intégrées à tous les aspects du développement, des opérations et des services de la ville.

La corrélation avérée entre les performances environnementales des villes et leur prospérité soutient la poursuite d'initiatives visant à accélérer rapidement une croissance plus propre, plus saine et plus viable grâce à l'écologisation des investissements dans les infrastructures urbaines dans les technologies d'efficacité et d'énergie renouvelable, et à la réforme réglementaire correspondante.

## **1.3 Système d'information géographique**

Au cours des cinq dernières décennies, le SIG est passé d'un concept à une science. L'évolution phénoménale du SIG d'un outil rudimentaire à une plate-forme moderne et puissante pour comprendre et planifier notre monde [3].

Les villes sont des agglomérations complexes de maisons et de bâtiments, de rues et de routes, de parcs, de quartiers, de centres commerciaux et d'usines industrielles. Les villes bénéficient de courtes distances entre leurs différentes parties. Ce qui se passe à un endroit dans une ville est lié à ce qui se passe dans les zones voisines et également à d'autres attributs de cet endroit. L'emplacement, les modèles d'utilisation des terres, les distances et les interactions sont des concepts fondamentaux d'une approche géospatiale, ce qui suggère que le SIG est essentiel à la gestion de la ville et aux idées de ville intelligente. Dans cette section spéciale, nous allons définir le SIG et ces différents concepts puis voir que l'approche de celui-ci, est un élément essentiel de la ville intelligente.

### **1.3.1 Définition et concept**

Les SIG offrent toutes les possibilités des bases de données (telles que requêtes et analyses statistiques) et ce, au travers d'une visualisation unique et d'analyse géographique propres aux cartes. Ces capacités spécifiques font du SIG un outil unique, accessible à un public très large et s'adressant à une très grande variété d'applications.

Les SIG sont utilisés par tous ; collectivités territoriales, secteur public, entreprise, écoles, administrations, états utilisent les SIG. La création de cartes et l'analyse géographique ne sont pas

des procédés nouveaux, mais les SIG procurent une plus grande vitesse et proposent des outils sans cesse innovant dans l'analyse, la compréhension et la résolution des problèmes. L'avènement des SIG a également permis un accès à l'information à un public beaucoup plus large.

### **1.3.2 Les composants d'un SIG**

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

#### **1.3.2.1 Matériel**

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

#### **1.3.2.2 Logiciels**

Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations. Les principaux composants logiciels d'un SIG sont :

- Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
- Système de gestion de base de données.
- Outils géographiques de requête, analyse et visualisation.
- Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

#### **1.3.2.3 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.

#### **1.3.2.4 Utilisateurs**

Un Système d'Information Géographique (SIG) étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou 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. 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.

### **1.3.2.5 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.

### **1.3.3 Fonctionnalité d'un SIG**

Les fonctions du SIG décrivent les étapes qui doivent être pris pour mettre en œuvre un SIG. Ces étapes doivent être suivis afin d'obtenir un système efficace. Les étapes impliquées sont :

#### **1.3.3.1 La capture de données**

Les données utilisées dans les SIG proviennent souvent de nombreuses sources. Les sources de données sont principalement obtenues à partir de la numérisation manuelle et de la numérisation d'antenne photographies, cartes papier et ensembles de données numériques existants. L'imagerie satellite et le GPS sont des sources de données prometteuses pour SIG.

#### **1.3.3.2 Compilation de données**

Suite à la numérisation des caractéristiques cartographiques, l'utilisateur termine la phase de compilation en reliant tous caractéristiques spatiales à leurs attributs respectifs, et par nettoyer et corriger les erreurs présentées comme résultat du processus de conversion des données de compilation est un ensemble de fichiers numériques, chacun avec précision représentant toutes les données spatiales et attributaires d'intérêt contenu dans les manuscrits originaux de la carte.

Ces fichiers numériques contiennent des coordonnées géographiques pour objets spatiaux (points, polygones linéaires et cellules) qui représentent des entités mappées.

#### **1.3.3.3 Stockage de données (modèles de données SIG)**

Une fois les données compilées numériquement, les fichiers cartographiques dans le SIG sont stockés sur des supports magnétiques ou autres médias numériques. Le stockage des données est basé sur un générique Modèle de données utilisé pour convertir les données cartographiques en forme numérique [4].

Les deux types de modèles de données les plus courants sont Raster et Vector. Les deux types sont utilisés pour simplifier les données affichées sur une carte dans un plus basique forme qui peut être facilement et efficacement stockée dans le l'ordinateur. La Figure 1 illustre les différents modes de représentation cartographique dans un SIG.

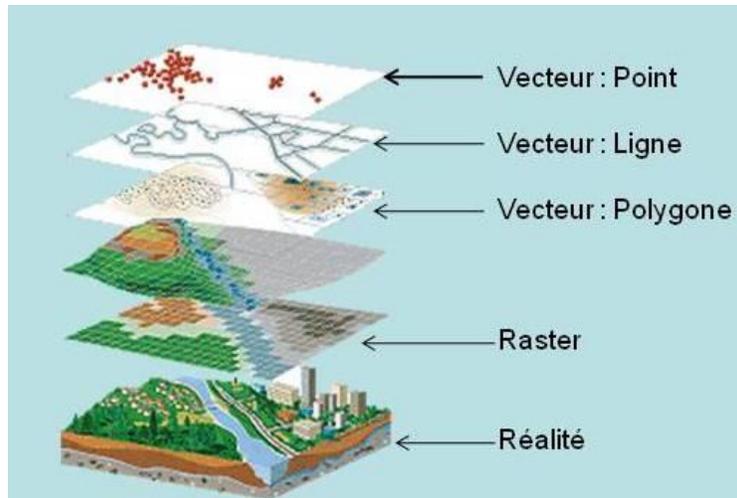


Figure 1 : Le mode Raster et Vectoriel

### 1.3.3.4 Manipulation

Une fois les données stockées dans un SIG, de nombreuses manipulations sont disponibles pour les utilisateurs. Ces fonctions sont souvent disponibles sous la forme de « boîtes à outils ». Une boîte à outils est un ensemble de fonctions génériques qu'un utilisateur de SIG peut utiliser manipuler et analyser des données géographiques.

### 1.3.3.5 Analyse

Le cœur du SIG réside dans les capacités analytiques du système. Ce qui distingue le système SIG des autres systèmes d'information c'est les fonctions d'analyse spatiale.

Les fonctions d'analyse utilisent les données spatiales et non spatiales dans la base de données pour répondre aux questions sur le monde réel. L'analyse géographique facilite l'étude des processus du monde réel en développant et en appliquant des modèles. Ces modèles éclairent les tendances sous-jacentes aux données géographiques. Les résultats de l'analyse géographique peuvent être communiqué à l'aide de cartes.

### 1.3.4 SIG au service des Villes Intelligentes

Le SIG est déployé à chaque étape de la planification et du développement d'une Smart City. Le cadre sous-jacent est servi par les TIC (technologies de l'information et des communications), tandis que l'accent est mis sur le « spatial » ou SIG. La plate-forme commune fonctionne à toutes les étapes du cycle de vie - de la modélisation, de la planification, de la construction à la gestion - à travers le spectre complet des fonctionnalités [5].

Le SIG est maintenant plus répandu que jamais dans un large éventail d'utilisateurs. Lorsqu'il est mis en œuvre dans le cadre d'un cadre plus large de ville intelligente, la technologie SIG protège la sécurité et le bien-être des citoyens tout en garantissant leur capacité à voyager, à travailler et à profiter des nécessités de base de la qualité de vie. Un système d'information centralisé basé sur le SIG fournit un cadre informatique pour maintenir et déployer des données et des applications dans tous les aspects du cycle de vie du développement de la ville.

### **Sélection du site et acquisition de terrains**

Le SIG peut combiner et intégrer différents types d'informations pour aider à prendre de meilleures décisions et fournit également des outils de visualisation de haute qualité qui peuvent améliorer la compréhension et améliorer la capacité de prise de décision en ce qui concerne l'identification, l'évaluation et enfin la sélection du site. En analysant les données de localisation - proximité du réseau routier, fertilité du sol, utilisation des terres, capacité portante du sol, profondeur des eaux souterraines et vulnérabilité aux catastrophes telles que les inondations, les tremblements de terre - les organisations immobilières peuvent arriver à la bonne évaluation de la propriété. En analysant, en cartographiant et en modélisant les mérites d'un site ou d'un emplacement par rapport à un autre peut être évalués. En outre, cela peut également être utilisé pour arriver à une compensation appropriée liée au marché pour les propriétaires en fonction des paramètres d'évaluation et dans la planification de la réhabilitation et de la réinstallation.

### **Conformité environnementale / juridique**

Le SIG simplifie et simplifie le respect des exigences réglementaires en fournissant une plate-forme commune de communication avec les régulateurs et le public. Les données existantes peuvent être directement connectées à un workflow de conformité garantissant le respect. De plus, les sorties graphiques basées sur le SIG peuvent aider à générer rapidement des rapports qui démontrent clairement comment les exigences de conformité et les règlements des bâtiments sont respectés.

### **Planification, conception et visualisation**

La géo-conception sera le cadre clé pour la conceptualisation et la planification des villes intelligentes ; il aidera à chaque étape de la conceptualisation du projet à l'analyse du site, aux spécifications de conception, à la participation et à la collaboration des parties prenantes, à la création de la conception, à la simulation et à l'évaluation. Effectuer des analyses et une

planification spatiale. Les services publics peuvent gérer et cartographier l'emplacement de millions de kilomètres de circuits aériens et souterrains.

En intégrant des informations d'imagerie, d'élévation et d'environnement à l'environnement CAO / BIM, les ingénieurs peuvent continuer à travailler avec des logiciels familiers tout en ayant accès à des données SIG importantes. Les fichiers de conception peuvent être introduits dans un SIG et liés à un logiciel financier pour une meilleure main-d'œuvre et matériaux et une estimation du coût total du projet. Avec ces types de capacités, le SIG est une composante essentielle des systèmes d'information d'ingénierie du futur. Un système d'information géographique 3D peut être utilisé pour créer une simulation réaliste d'un projet, d'un environnement ou d'une situation critique.

Le SIG peut contribuer à accroître la durabilité d'une installation en réduisant la consommation d'énergie et d'eau, en améliorant l'élimination des déchets et en diminuant l'empreinte carbone d'un bâtiment. En gérant les informations à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments jusqu'au niveau des actifs, le SIG peut aider, par exemple, à différencier l'impact environnemental du développement, à planifier et à évaluer les modèles et la conception des quartiers, à estimer la « marche-habilité » des projets LEED-ND en fonction des données sur les rues, les routes piétonnes, les pistes cyclables, l'accessibilité des transports en commun, les entrées des bâtiments et divers autres facteurs.

### **Construction et gestion de projet**

Le SIG, intégré au logiciel de gestion de projet, offre une vue complète des projets et de leur état actuel et aide à suivre les performances. Le SIG aide à organiser toutes les informations pertinentes sur le projet, des données de sol et des études géotechniques à la planification, aux études environnementales, aux dessins techniques, aux cartes de projet, à l'inventaire et au contrôle des actifs.

### **Opérations et rapports**

Le SIG peut suivre et analyser les actifs dans l'espace et dans le temps et fournir des informations via la visualisation des informations via des cartes et des rapports faciles à comprendre. Il prend en charge la création d'une vue des opérations qui comprend des cartes, des listes, des graphiques, des jauges, etc. en fonction de données géographiques en direct définies dans une carte Web ou un service Web. Plusieurs vues d'opération peuvent être définies pour

répondre aux besoins des parties prenantes se concentrant sur différents aspects de l'opération. Grâce à cette capacité d'intégrer des sources d'information disparates dans une image opérationnelle commune de toutes les installations, le SIG offre une plus grande puissance pour contrôler les opérations du canton et avoir un impact positif sur les résultats.

### **Gestion des installations**

Un système d'information basé sur un SIG fournit une base solide pour une meilleure gestion des installations en générant des informations intégrées qui aident à prendre de meilleures décisions d'allocation. Le SIG peut s'intégrer et étendre le système de gestion des installations actuel. En important et en agrégeant dans un SIG les géométries et les données tabulaires des multiples fichiers BIM et / ou CAO nécessaires pour représenter avec précision l'environnement construit, l'efficacité et la puissance du BIM peuvent être exploitées, étendues et connectées dans l'espace géographique.

## **1.4 Building information modeling**

Les entreprises de construction subissent de plus en plus de contraintes dans la réalisation de leurs projets : les délais d'exécution sont de plus en plus courts, la qualité doit être améliorée en permanence et les budgets sont bien souvent restreints. Il arrive en outre que les travaux ne se déroulent pas comme prévu. Ceci est généralement dû à un processus très fragmenté, à des problèmes de communication entre intervenants et à un degré de technicité croissant. Cette problématique peut être résolue grâce au BIM. Celui-ci permet en effet une meilleure organisation du processus de construction et une collaboration basée sur l'utilisation de maquettes numériques qui peuvent être échangées entre les partenaires.

Pour aider à relever le défi pressant de la collaboration et de la gestion des données du secteur, une approche nouvelle et innovante est nécessaire. Cette approche doit fournir une vue complète, précise et numérique des projets de conception et de construction à des équipes multidisciplinaires au bureau ou sur le terrain.

### **1.4.1 Définition**

Actuellement, il n'existe pas une définition acceptée par les différentes parties de ce domaine, de notre part on va se baser sur les deux définitions les plus populaires, le premier décrit les BIM comme une suite de processus ou méthodes de travail utilisés tout au long de la

conception, de la construction et de l'utilisation d'un bâtiment. Le BIM définit qui fait quoi, comment et à quel moment [6].

D'autre part, le leader des logiciels de construction **Autodesk** définit le BIM ou Building Information Modeling comme étant un processus intelligent basé sur un modèle 3D qui offre aux professionnels de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AEC) les informations et les outils nécessaires pour planifier, concevoir, construire et gérer plus efficacement des bâtiments et des infrastructures.

### 1.4.2 Différents niveaux du BIM

Le BIM a plusieurs niveaux, appelés niveaux de maturité. Ces niveaux sont en fait des étapes vers le BIM collaboratif. Les niveaux 0,1 et 2 ne doivent donc être considérés que comme des étapes et non pas une fin en soi. Les descriptions ci-dessous correspondent aux niveaux utilisés au Royaume-Uni, mais il semblerait que ceux-ci soient reconnus ailleurs également. La Figure 2 illustre les différents niveaux du BIM.

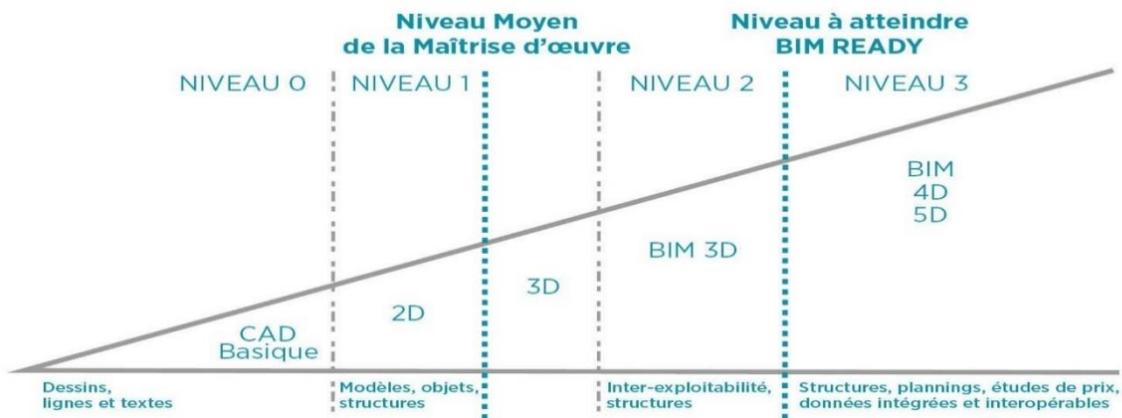


Figure 2 : Différents niveau de BIM

#### BIM Niveau 0

Dans sa forme la plus simple, le niveau 0 signifie effectivement aucune collaboration. Seul le dessin CAO 2D est utilisé, principalement pour les informations de production (Plan de travail RIBA 2013 étape 4). La sortie et la distribution se font via des impressions papier ou électroniques, ou un mélange des deux. La majorité de l'industrie est déjà bien en avance sur cela maintenant.

## **BIM Niveau 1**

Cela comprend généralement un mélange de CAO 3D pour le travail de concept et 2D pour la rédaction de la documentation d’approbation statutaire et des informations de production [7]. Les normes CAO sont gérées selon la norme BS 1192 : 2007 et le partage électronique des données est effectué à partir d’un environnement de données commun (CDE), souvent géré par le contractant. Pour atteindre le niveau 1 BIM, on doit atteindre les objectifs suivants :

- Les rôles et responsabilités doivent être convenus
- Des conventions de dénomination devraient être adoptées
- Des dispositions doivent être mises en place pour créer et maintenir les codes spécifiques au projet et la coordination spatiale du projet
- Un “Common Data Environment” (CDE), par exemple un extranet de projet ou un système de gestion électronique des documents (EDMS), devrait être adopté, pour permettre le partage des informations entre tous les membres de l’équipe de projet
- Il convient de convenir d’une hiérarchie d’information appropriée qui prend en charge les concepts du CDE et du référentiel de documents.

## **BIM Niveau 2**

Le BIM de niveau 2 se distingue par un travail collaboratif et nécessite “un processus d’échange d’informations spécifique à ce projet et coordonné entre différents systèmes et participants au projet”.

Tout logiciel de CAO utilisé par chaque partie doit être capable d’exporter vers l’un des formats de fichiers courants tels que IFC ou COBie. C’est la méthode de travail qui a été fixée comme objectif minimum par le gouvernement britannique pour tous les travaux du secteur public.

## **BIM Niveau 3**

Le niveau 3 n’a pas encore été entièrement défini, mais la vision à cet égard vise à garantir :

- La création d’un ensemble de nouvelles normes internationales « Open Data » qui ouvrirait la voie à un partage facile des données sur l’ensemble du marché
- La mise en place d’un nouveau cadre contractuel pour les projets qui ont été acquis avec le BIM pour assurer la cohérence, éviter la confusion et encourager un travail ouvert et collaboratif.

- La création d'un environnement culturel qui est coopératif, cherche à apprendre et à partager
- Former le client du secteur public à l'utilisation des techniques BIM telles que les exigences de données, les méthodes opérationnelles et les processus contractuels
- Stimuler la croissance nationale et internationale et les emplois dans la technologie et la construction.

### **1.4.3 Apport BIM au ville intelligente**

Le BIM pour les villes intelligentes - ce n'est plus une option mais une nécessité. Dans tout projet d'infrastructure, plusieurs équipes travaillent ensemble. Une équipe s'occupe de la planification, une autre s'occupe de la conception, une autre s'occupe de la construction et une autre s'occupe de l'entretien. Dans de tels scénarios, la pertinence du BIM augmente.

L'avantage le plus important du BIM est qu'il facilite la collaboration et la gestion de l'information et de la communication entre les équipes impliquées dans un projet de construction. Dans le processus de fonctionnement traditionnel, une partie des connaissances sur les actifs est perdue chaque fois qu'une équipe transmet le projet à une autre. Cela entraîne également un gaspillage en termes de revenus. Le BIM surmonte ces lacunes en adoptant la mobilité de l'information et en faisant en sorte que chacun utilise le même ensemble de normes et de processus. En conséquence, la connaissance des actifs augmente constamment au cours du cycle de vie du projet. La mise en œuvre du BIM permet aux architectes de faire des choix de conception éclairés, et les constructeurs minimisent les déchets et terminent leurs projets à temps, économisant ainsi les dépenses engagées en raison de retards évitables.

Avec le BIM, une ville n'est jamais vue de manière isolée. Un bâtiment est toujours intégré à d'autres infrastructures telles que le système de transport, les services publics, etc. Les projets qui mettent en œuvre le BIM ouvrent des portes à la collaboration et à la libre circulation des informations standardisées entre les disciplines.

La modélisation 3D et le BIM sont une aubaine pour les villes intelligentes. Le logiciel 3D permet aux constructeurs de modéliser même l'infrastructure à construire sous terre. Une multitude de solutions BIM et SIG sont disponibles pour les villes intelligentes, notamment en termes de bâtiments, les capacités SIG 3D permettent aux entreprises de concevoir, modéliser, éditer et

analyser des solides 3D. Même l'analyse pour la ligne de vue, les ombres, l'éclairage, les études d'horizon, sont également possibles les modèles intelligents permettent des décisions plus éclairées qui ont un impact sur la longévité et les performances de la structure.

## **1.5 L'internet des objets**

Lorsque l'on parle de l'Internet des objets, une grande attention est accordée à son potentiel. Les nouvelles sur ce que l'IoT sera capable de faire et comment il renforcera nos vies continuent d'affluer, mais pour beaucoup, il peut sembler que ces visions édifiantes ne se traduisent pas en réalité aussi vite que nous le souhaiterions. Néanmoins, le grand changement se produit, mais il se produit par des petits fragments plutôt que par pas de géant. La raison en est assez simple, mais elle a tendance à rester hors de la vue du public, c'est la diversité inhérente des systèmes IoT qui étouffe les progrès et empêche souvent de rendre toutes choses connectées.

Pour mettre en œuvre n'importe quel système IoT, il faut exploiter toutes les ressources, le matériel, les logiciels et les systèmes, aussi variés soient-ils, dans un seul et même cadre pour former une solution intégrée, fiable et rentable. En termes simples, chaque déploiement IoT a besoin d'une architecture IoT solide pour pouvoir remplir son objectif, l'efficacité et l'applicabilité du système qui en résultent dépendent en grande partie de la qualité de l'infrastructure développée.

### **1.5.1 Définition**

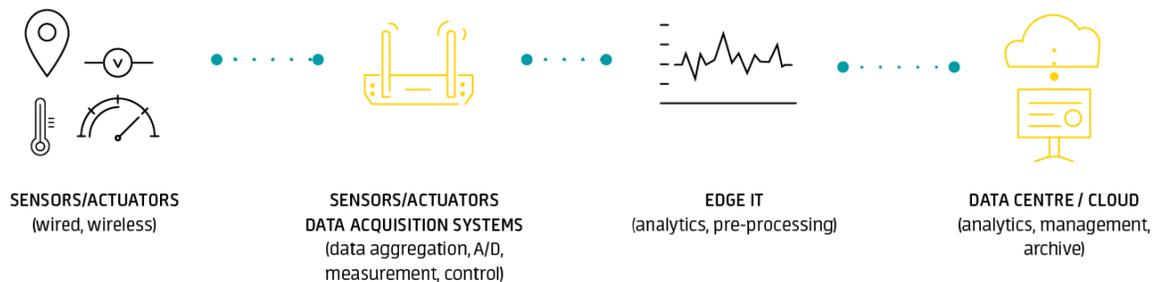
L'Internet des objets, ou IoT, fait référence aux milliards d'appareils physiques dans le monde qui sont désormais connectés à Internet, tous collectant et partageant des données. Grâce à l'arrivée de puces informatiques très bon marché et à l'omniprésence des réseaux sans fil, il est possible de transformer n'importe quoi, de quelque chose d'aussi petit qu'une pilule à quelque chose d'aussi gros qu'un avion, en une partie de l'IoT. La connexion de tous ces différents objets et leur ajout de capteurs ajoute un niveau d'intelligence numérique à des appareils qui seraient autrement stupides, leur permettant de communiquer des données en temps réel sans impliquer un être humain. L'Internet des objets rend le tissu du monde qui nous entoure plus intelligent et plus réactif, en fusionnant les univers numériques et physiques.

### **1.5.2 Architecture de l'internet des objets**

Les applications pour l'IoT s'étendent sur une grande variété de cas d'utilisation et de secteurs verticaux. Cependant, tous les systèmes IoT complets sont identiques en ce sens qu'ils

représentent l'intégration de quatre composants distincts : capteurs / appareils, connectivité, traitement des données et une interface utilisateur.

Nous allons décrire ce que chacun d'eux signifie dans les sections ci-dessous et comment ils se combinent pour former un système IoT complet. La Figure 3 illustre l'architecture de l'internet des objets.



**Figure 3** Architecture de l'internet des objets

### 1.5.2.1 Capteurs / Appareils

Premièrement, les capteurs ou les appareils collectent des données à partir de leur environnement. Ces données peuvent être aussi simples qu'une lecture de température ou aussi complexes qu'un flux vidéo complet [8].

Nous utilisons des « capteurs / appareils », car plusieurs capteurs peuvent être regroupés ou des capteurs peuvent faire partie d'un appareil qui fait plus que simplement détecter les choses. Par exemple, un téléphone est un appareil doté de plusieurs capteurs (appareil photo, accéléromètre, GPS, etc.), mais le téléphone n'est pas seulement un capteur car il peut également effectuer de nombreuses actions.

Cependant, qu'il s'agisse d'un capteur autonome ou d'un appareil complet, dans cette première étape, les données sont collectées à partir de l'environnement par quelque chose

### 1.5.2.2 Connectivité

Ensuite, les capteurs / appareils peuvent être connectés au cloud via une variété de méthodes, notamment : cellulaire, satellite, Wifi, Bluetooth, réseaux étendus à faible

consommation (LPWAN), connexion via une passerelle / routeur ou connexion directe à Internet via Ethernet.

Chaque option présente des compromis entre la consommation d'énergie, la portée et la bande passante. Le choix de la meilleure option de connectivité dépend de l'application IoT spécifique, mais ils accomplissent tous la même tâche : acheminer les données vers le cloud.

### **1.5.2.3 Traitement de l'information**

Une fois que les données arrivent dans le cloud (nous expliquerons ce que signifie le cloud dans notre section de traitement des données), le logiciel y effectue une sorte de traitement.

Cela peut être très simple, comme vérifier que la lecture de la température se situe dans une plage acceptable. Ou cela peut aussi être très complexe, comme utiliser la vision par ordinateur sur une vidéo pour identifier des objets.

### **1.5.2.4 Interface utilisateur**

Ensuite, les informations sont rendues utiles à l'utilisateur final d'une manière ou d'une autre. Cela peut se faire via une alerte à l'utilisateur (e-mail, texte, notification, etc.). Par exemple, une alerte textuelle lorsque la température est trop élevée dans la chambre froide de l'entreprise.

Un utilisateur peut avoir une interface qui lui permet de s'enregistrer de manière proactive sur le système. Par exemple, un utilisateur peut vouloir vérifier les flux vidéo sur diverses propriétés via une application téléphonique ou un navigateur Web.

Cependant, ce n'est pas toujours une rue à sens unique. En fonction de l'application IoT, l'utilisateur peut également être en mesure d'effectuer une action et d'affecter le système. Par exemple, l'utilisateur peut régler à distance la température de la chambre froide via une application sur son téléphone.

## **1.5.3 Apport de l'IoT aux smart cities**

L'internet des objets permet aux personnes et aux appareils de collecter et de partager des informations dans leurs villes et à travers le monde. Lorsque nous améliorons la vitesse à laquelle nous recevons et partageons des données, nous facilitons grandement notre vie quotidienne. Les technologies de la ville intelligente, telles que les systèmes de gestion de l'eau compatibles avec l'IoT, les outils de gestion de la mobilité intelligente et les réseaux énergétiques intelligents,

améliorent l'efficacité des opérations et des services de la ville, réduisant ainsi la consommation d'énergie et d'eau, réduisant le trafic et la congestion (et par conséquent les émissions de carbone) et améliorer la gestion des déchets.

Pour Comprendre le rôle de la ville intelligente et de ses composants à l'ère de l'IoT, les villes doivent créer les conditions d'un développement continu. Les technologies numériques prennent de plus en plus d'importance, les infrastructures et les bâtiments urbains doivent être planifiés de manière plus efficace et durable. L'IoT pour la personne moyenne est le smartphone car il va être partout et tout le monde porte un smartphone toute la journée, c'est aussi les solutions de stationnement intelligentes identifient lorsqu'un véhicule a quitté l'aire de stationnement et c'est encore plus que ce que nous venons de citer.

## **1.6 Intégration SIG et BIM**

Avec les concepts de Smart City attirant l'industrie, la méthode de gestion des informations spatiales est devenue un sujet d'actualité. Les SIG et le BIM sont deux technologies récentes, leur intégration crée une nouvelle direction dans le domaine de la construction.

Étant donné que les bâtiments sont les principaux objets d'application de l'intégration du BIM et du SIG et que l'application couvre le cycle de vie du projet de construction. L'intégration du BIM et du SIG a été utilisée non seulement pour la construction de nouveaux bâtiments mais aussi pour la rénovation de vieux bâtiments. Pour les nouveaux projets de construction, l'intégration de ces deux derniers prend en charge des applications telles que la chaîne d'approvisionnement gestion et gestion des horaires.

Les ingénieurs de construction utilisent le BIM pour obtenir un décollage détaillé au début phase d'approvisionnement et utilisation du SIG pour effectuer une analyse géospatiale de la livraison logistique dans une construction visualisée système de gestion de la chaîne d'approvisionnement développé pour suivre l'état de la chaîne d'approvisionnement des matériaux et fournir des avertissements pour accident de livraison de matériaux. D'autre part, pour les projets de rénovation de bâtiments, l'intégration du BIM et du SIG a aidé à la préparation et à la prise de décision. En mettant Données BIM géométriques telles quelles et autres données nécessaires dans le SIG.

Pour la gestion de l'énergie, les ingénieurs de BIM & SIG ont créé un modèle de pré-rénovation pour effectuer une cartographie des données du bâtiment pour trouver les problèmes existants dans le bâtiment à rénover et les solutions correspondantes dans la préparation de la rénovation du bâtiment. En important un modèle de contrôle du temps de projet basé sur BIM et en planifiant les données dans GIS.

## **1.7 Intégration SIG et IoT**

Le rôle de l'Internet des objets et système d'information géographiques est d'encourager une large adoption de la technologie NFC (Near-Field Communication) en travaillant avec des acteurs clés de l'industrie de l'Internet des objets. Ce groupe de travail s'efforce de comprendre les besoins commerciaux et techniques dans le domaine pour développer des programmes pour soutenir l'industrie [9].

Trois tâches automatisées ont été conçues, notamment l'ingestion de données, nettoyage des données et la contextualisation des données. L'automatisation de ces tâches est d'une importance capitale pour rationaliser une grande quantité de tuples. La tâche d'ingestion de données consiste à récupérer les flux de données à partir de différents appareils IoT et se connecter à un SIG dans la plate-forme cloud. La tâche de nettoyage des données implique l'exécution de requêtes continues pour exécuter des tâches de géo-traitement courantes. Enfin, la contextualisation est la tâche la plus complexe car elle contextualise les tuples de les tâches précédentes en attachant de nouveaux attributs à chaque tuple d'origine selon un contexte de mobilité spécifique [10].

L'intégration des données est réalisée par un push des différents objets vers notre plateforme IoT-SIG. L'ingestion la tâche permet un HTTP POST, une connexion Wi-Fi et une connexion 3G pour une récupération rapide de tuples des appareils eux-mêmes ainsi qu'un service de diffusion dans lequel une boucle permanente de fenêtres temporelles d'événements peut être appliquée. Sélection la granularité temporelle d'une fenêtre temporelle d'événement dépendra du contexte de mobilité.

La tâche de nettoyage des données est toujours nécessaire pour éliminer les incohérences et les erreurs des tuples stockés. Garantir la qualité des données pour un volume continu et élevé de tuples est une tâche non triviale, et l'exécution automatique de cette tâche est encore plus difficile car les appareils IoT produisent généralement une grande quantité de données bruyantes. La tâche

est automatiquement lancée à l'aide d'une requête continue qui vise à récupérer tous les tuples bruts de la base de données.

Il s'agit de la tâche la plus complexe conçue pour être automatisée dans notre processus analytique. La contextualisation enrichit les tuples étape par étape à partir de la tâche de nettoyage des données précédente en ajoutant de nouveaux attributs à chaque tuple en fonction d'un contexte de mobilité spécifique [11]. Mais avant même que cette tâche ne commence, les tuples doivent être triés de la manière la plus efficace pour exécuter les étapes de contextualisation des données.

## **1.8 Conclusion**

Il est facile de voir que les villes peuvent bénéficier énormément des progrès technologiques qui utilisent l'Internet des objets, les systèmes d'information géographiques et les building information model. Il est également facile de voir qu'à mesure que les villes continuent de croître et que de plus en plus d'appareils sont ajoutés à l'infrastructure, la quantité de données sera volumineuse. Afin de gérer ces demandes et d'utiliser pleinement la nouvelle technologie, les villes auront besoin de systèmes de gestion de l'information. Les données à elles seules ne profiteront à personne sans un système transparent pour analyser et agréger la grande quantité d'informations. Un système efficace aidera les villes à tirer parti de la nouvelle technologie et à améliorer la vie urbaine des résidents et des entreprises tout en réduisant les coûts pour toutes les personnes concernées.

# Chapitre 2 : Méthodologie

## 2.1 Introduction

Le développement d'une solution SIG au service des smart city représente un défi géographique multidimensionnel. Semblables aux cartes 2D, les cartes SIG 3D décrivent les objets de manière plus détaillée en ajoutant une autre dimension (z). La technologie 3D dans les cartes SIG est constituée d'illustrations explicatives qui représentent l'échelle des objets du monde réel. Par exemple, les cartes 3D peuvent montrer la hauteur d'un hôtel ou d'une montagne et pas seulement son emplacement. Les outils 3D doivent être utilisés avec un SIG 2D puis représentés dans un cadre 3D.

Les BIM sont une technologie importante qui décrivent les paramètres réels d'un environnement. La combinaison du BIM, IoT et du SIG fournit le savoir-faire nécessaire pour construire un modèle robuste. La combinaison du SIG 3D et du BIM peut aider à produire des plans de gestion de bâtiment sans erreur et la collecte de données en temps réel permettraient éventuellement une analyse plus détaillée des données.

Notre Objectif dans ce chapitre est de créer une roadmap sur l'acheminement des différentes phases de conception, modélisation et simulation pour aboutir à des résultats d'analyse spatiale fiable sur un site intelligent.

## 2.2 Description de la zone d'étude

Nous avons choisi le site de la faculté des sciences exacte et de l'informatique de l'université de Mostaganem. Ce choix a été adopté vu la disponibilité d'un certain nombre de données sur la zone d'étude et notamment des données SIG.

L'objectif est de numériser ce plan en couche graphique dans un environnement 3D pour appliquer des analyses spatiales sur les différents paramètres de la zone d'étude (capacité, température captée, taux d'humidité, angle de camera ...)



**Figure 4 : Zone d'étude**

## **2.3 Description de l'environnement de travail**

Nous avons utilisé plusieurs logiciels pour accomplir notre travail.

### **2.3.1 ArcGis PRO**

ArcGIS Pro est la dernière application SIG de bureau professionnelle d'Esri. Avec cet outil nous pouvons explorer, visualiser et analyser des données. Aussi créer des cartes 2D et des scènes 3D. Dans notre projet nous avons utilisé la version 2.7.3 d'ArcGIS Pro. Cet outil permet de réaliser :

- Des traitements cartographiques
- Des opérations sur le terrain.
- Des analyses spatiales.
- Des traitements d'imagerie et de télédétection.
- La visualisation et l'analyse en temps réel.
- La visualisation et l'analyse 3D.
- La gestion de données.
- ... etc.

### **2.3.2 AutoCAD**

AutoCAD est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) sur lequel les architectes, les ingénieurs et les professionnels de la construction s'appuient pour créer des dessins 2D et 3D précis.

Ce dernier permet de réaliser les tâches suivantes :

- Créer, annoter et concevoir une géométrie 2D et des modèles 3D avec des objets solides, des surfaces et des maillages
- Automatiser des tâches telles que la comparaison de dessins, le comptage, l'ajout de blocs, la création de programmes, etc.

## **2.4 Définition des données**

Nous avons utilisé plusieurs types de données pour réaliser notre projet.

### **2.4.1 Données SIG**

L'information géographique contient soit une référence géographique explicite (latitude & longitude ou grille de coordonnées nationales) ou une référence géographique implicite (adresse, code postal, nom de route...).

#### **3.4.1.1 Données vectorielles**

Dans la partie conception, nous avons importé les schémas 2D à partir des fichiers CAD sous forme de polygones, puis nous avons intégré les données vectorielles avec les données de la base de données.

#### **3.4.1.2 Données Raster (image satellite)**

Un raster est une matrice de cellules (ou pixels) organisées en lignes et en colonnes et qui couvrent une partie du monde (ou même le monde dans son ensemble). Chaque cellule de la matrice représente une unité de surface au carré et contient une valeur numérique qui est une mesure ou une estimation de cet emplacement.

Nous avons utilisé l'imagerie proposée par Arcgis online pour avoir une représentation du site de la FSEI.

### **3.4.1.3 MNT**

Un module spécialisé en traitement de données tridimensionnelles, tel que ArcGis Pro est nécessaire pour visualiser le Modèle Numérique de Terrain en trois dimensions. Nous avons utilisé le MNT proposé par ArcGIS online pour avoir une représentation 3D du sol.

### **3.4.2 Données CAD**

Dans la partie réalisation de la base de données nous nous sommes basés sur la génération d'un plan CAD à partir de travaux 3D réalisés précédemment par des étudiants. Dans un deuxième temps nous avons consulté un bureau d'étude pour mettre les données CAD à l'échelle et normaliser les divers schémas.

AutoCAD utilise un format vectoriel propriétaire basé sur des fichiers. Les deux formats sont capables de prendre en charge les informations 2D et 3D.

### **3.4.3 Données IoT**

La capacité de l'IoT à fournir des informations issues de capteurs, ainsi qu'à permettre aux appareils de communiquer entre eux, rend possible une vaste palette d'applications.

Dans notre cas d'étude et vu que la faculté ne possède pas de technologie IoT, nous avons développé des scripts Python pour réaliser des simulations sur la génération des données. Pour les données température nous avons réalisé une analyse sur les différentes températures captées en salle dans des jeux de données génériques et d'autre part nous avons aussi analysé la température moyenne de la ville de Mostaganem dans la moyenne au mois de mai.

## **2.5 Modélisation de la base de données**

Le diagramme de classe regroupe l'ensemble des tables nécessaires pour implémenter notre base de données. Les Bases de données géographiques sont structurées à partir d'un ensemble de tables de deux natures : des tables graphiques (couches d'information, nommées sous ArcGIS, par layer) et des tables attributaires (données sémantiques).

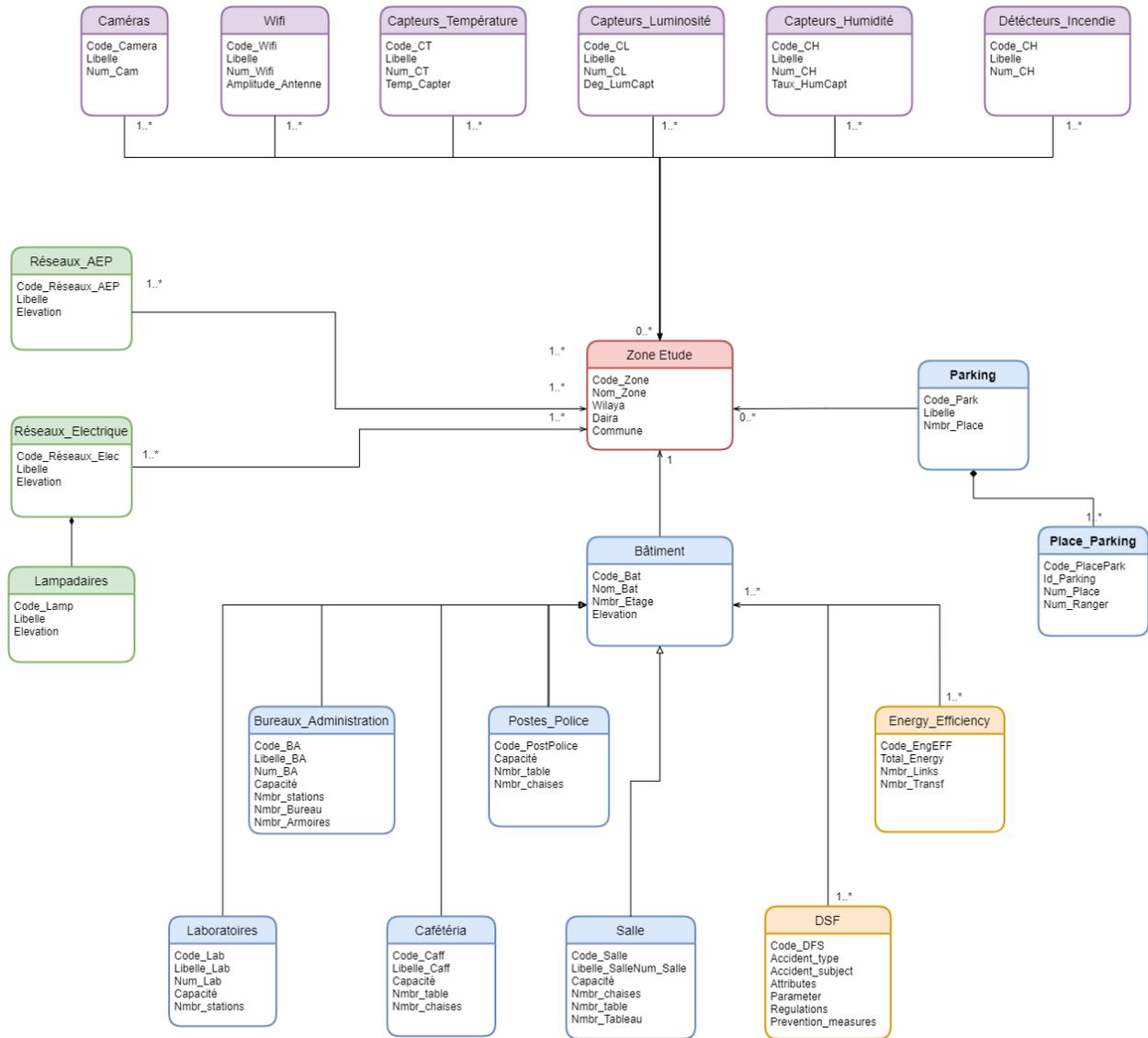


Figure 5: Diagramme de classe

Le diagramme ci-dessus illustre notre diagramme de classe (UML), les différentes relations entre les tables (héritage, dépendance ...), et leurs cardinalités. Tous nos classes appartiennent à une zone d'étude défini par le contour de la FSEI.

Les données issues des SIG ont été défini en bleu, nous pouvons citer : les bâtiments, les postes de police, les salles, les laboratoires, la cafeteria et les parkings.

D'autre part, la partie IoT décrite en couleur mauve est connectée directement à notre zone d'étude d'une façon générique. Dans notre cas nous avons utilisé les caméras de surveillance, les capteurs de température et d'humidité et les antenne Wifi.

Aussi, la partie BIM a été représentée. Pour cela nous l'avons schématisé en jaune dans l'illustration précédente, dans cette partie nous nous sommes intéressés à l'efficacité énergétique des bâtiments de la zone étude et du DSF pour les mesures préventives de notre projet.

## 2.6 Phases de réalisation du projet

Le déploiement d'un Système d'Information Géographique (SIG), quelle que soit sa taille ou son ambition, nécessite la mise en œuvre d'un projet, et la mobilisation d'un certain nombre de ressources dans un temps donné et en fonction d'objectifs et de moyens déterminés. Dans notre cas d'étude nous avons suivi les phases suivantes :

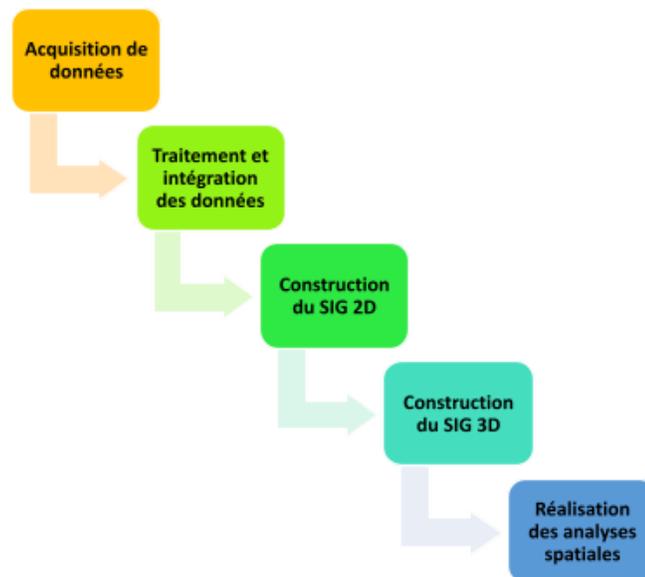


Figure 6 : Phase de réalisation du projet

La figure ci-dessus explique les différentes étapes pour la réalisation de notre application SIG, dans un premier temps nous avons collecté les données de divers sources (travaux existant par les étudiants ou auprès des membres de l'administration) puis nous avons traité ces données.

Pour les données non existantes comme pour les données IoT nous avons utilisé des scripts Python pour pouvoir simuler les données générées par les capteurs.

Après avoir mis en valeur nos données, nous avons commencé la création de notre base de données (data et layer) sous ArcGis Pro. Nous avons importé les fichiers DWG générés auparavant dans le logiciel AutoCAD. Nous avons ensuite traité les différentes couches. Ensuite, et après avoir construit notre SIG 2D nous avons réalisé une extrusion tridimensionnelle sur notre carte en générant une scène 3D de la zone d'étude.

Enfin, nous avons utilisé les divers outils d'analyse fournis par ArcGis Pro pour simuler divers scénarios concernant les données issues des capteurs IoT, ou des données BIM et SIG.

## **2.7 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons montré les principaux outils nécessaires pour réaliser notre application. Nous avons aussi décrit les données requises et spécifié les phases de réalisation à suivre.

Dans la partie suivante, nous nous focaliseront sur la partie pratique du projet et l'application des divers concepts et méthodologies pour la réalisation de notre projet.

## **Chapitre 3 : Implémentation et réalisations**

### **3.1 Introduction**

Dans ce chapitre nous allons présenter l'implémentation de notre application, pour cela nous avons utilisé le langage Python et comme outil SIG nous avons utilisé ArcGIS Pro.

Pour pouvoir aboutir à des résultats fiables pour notre projet, le projet SIG doit passer par les différentes étapes clés décrites dans la section suivante

### **3.2 Acquisition de données**

Cette étape représente le premier pas de la réalisation, elle consiste à acquérir les données nécessaires à la réalisation de notre projet. Ces données sont essentiellement des données SIG que nous avons numérisé et des données CAD qui existaient préalablement.

Nous avons aussi collecté des données concernant l'infrastructure interne de la FSEI auprès de l'administration de la faculté.

### **3.3 Traitement et intégration des données**

Après la collecte des données, nous avons intégré l'ensemble des informations dans une base de données géographiques en constituant les différentes couches d'entités nécessaires à la réalisation de notre projet.

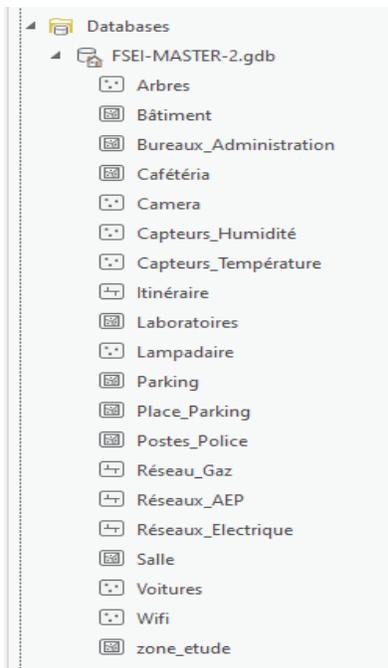


Figure 7 : Représentation de la base de données sur Arcgis Pro

Ensuite, nous avons importé les données attributaires collectées dans la base de données SIG.

OBJECTID	SHAPE	Shape_Length	Shape_Area	Libelle	Num_Salle	Capacité	Nmbr_chaises	Nmbr_table	Nmbr_Tableau	Etage	Elevation
1	Polygon Z	33.434693	69.746116	Salle TD 01	1	60	62	32	5	0	3
2	Polygon Z	33.434699	69.746085	Salle TD 02	2	32	34	12	3	0	3
3	Polygon Z	33.434834	69.746671	Salle TD 03	3	32	34	12	3	0	3
4	Polygon Z	33.434524	69.745392	Salle TD 04	4	32	34	12	3	0	3
5	Polygon Z	33.434834	69.746671	Salle TD 05	5	32	34	12	3	0	3
6	Polygon Z	33.434659	69.745978	Salle TD 06	6	32	34	12	3	0	3
7	Polygon Z	46.198197	120.370116	Salle TD 07	7	60	62	32	5	0	3
8	Polygon Z	33.434524	69.745392	Salle TD 08	8	32	34	12	3	0	3
9	Polygon Z	33.434834	69.746671	Salle TD 09	9	32	34	12	3	1	6
10	Polygon Z	33.434699	69.746085	Salle TD 10	10	32	34	12	3	1	6
11	Polygon Z	31.415112	61.658842	Salle TD 11	11	32	34	12	3	1	6
12	Polygon Z	30.702366	58.711463	Salle TD 12	12	32	34	12	3	1	6
13	Polygon Z	33.434834	69.746671	Salle TD 13	13	32	34	12	3	1	6
14	Polygon Z	33.434659	69.745978	Salle TD 14	14	32	34	12	3	1	6
15	Polygon Z	34.060438	66.677538	Salle TP 1	20	40	42	24	3	0	3
16	Polygon Z	34.075707	67.230213	Salle TP 2	21	40	42	24	3	0	3
17	Polygon Z	33.699683	65.15723	Salle TP 3	22	40	42	24	3	0	3
18	Polygon Z	56.259502	193.474153	Amphi 3	30	180	182	12	5	0	3
19	Polygon Z	60.556587	228.760603	Amphi 2	31	180	182	12	5	0	3
20	Polygon Z	59.048679	216.69039	Amphi 1	32	180	182	12	5	0	3
21	Polygon Z	73.691496	357.555022	Amphi 4	34	450	460	32	3	0	3
22	Polygon Z	28.043136	48.579147	Salle C 1	41	30	32	12	3	0	3
23	Polygon Z	28.043251	48.579507	Salle C 2	42	30	32	12	3	0	3
24	Polygon Z	28.043053	48.578888	Salle C 3	43	30	32	12	3	0	3
25	Polygon Z	28.043251	48.579507	Salle C 4	44	30	32	12	3	0	3
26	Polygon Z	28.043363	48.579941	Salle A 1	45	30	32	12	3	0	3
27	Polygon Z	28.043053	48.578888	Salle A 2	46	30	32	12	3	0	3
28	Polygon Z	28.043053	48.578888	Salle A 3	47	30	32	12	3	0	3
29	Polygon Z	28.043251	48.579507	Salle A 4	48	30	32	12	3	0	3
30	Polygon Z	28.043203	48.579339	Salle B 1	49	30	32	12	3	0	3

Figure 8 : Importation de données dans la DB SIG

### 3.4 Construction du SIG 2D

Cette phase consiste à exploiter les données recollectées pour les représentées sur une carte 2d ou chaque entité représente une couche géographique.



Figure 9 : Vue 2d de la FSEI (Infrastructure des bâtis)

Ensuite, nous avons défini l'infrastructure des bâtis, et nous avons ajouté les différentes couches de capteurs IoT (capteur température, capteur d'humidité, camera de surveillances ...etc.) a notre zone d'étude.



Figure 10 : Vue 2D de la FSEI (SIG - BIM - IOT)

### 3.5 Construction du SIG 3D

Dans cette partie nous avons translaté le travail réalisé en 2D (base de données et les différentes couches) en 3D.

L'outil ArcGis Pro permet la conversion de scènes 2d vers des scènes 3D et vice versa. Pour ce faire, il est nécessaire de préparer les données 2D de manière à avoir la hauteur de chaque entité représentée.

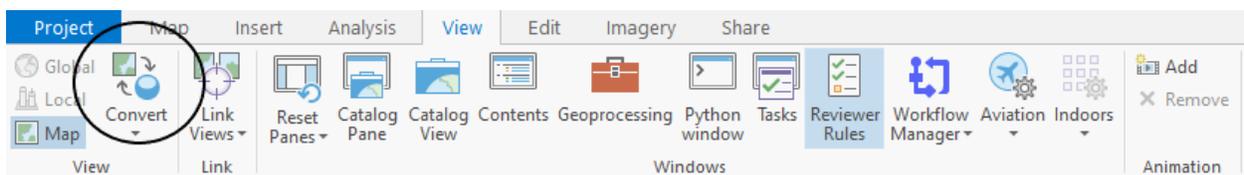


Figure 11 : Convertir une carte 2D en une scène 3D

Après avoir converti notre carte en scène, nous avons créé une symbologie pour chaque couche de données. Cela pour affecter une texture à chaque bâtiment extrudé en 3D. Nous avons aussi réalisé un script Python (supporté par ArcGis Pro) pour le calcul des différentes hauteurs.

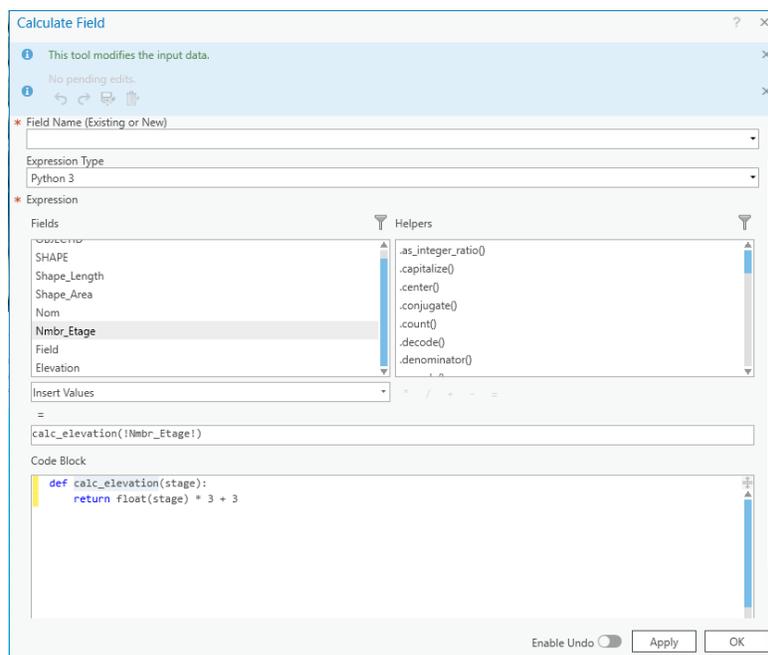
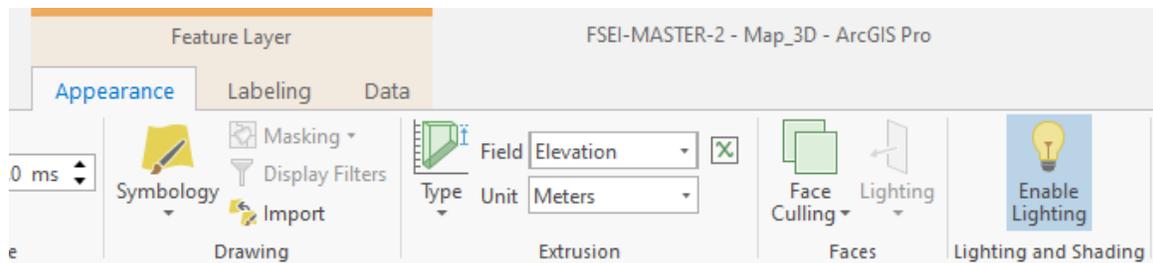


Figure 4 :Calcul automatique des élévations des bâtis

Pour configurer l'élévation de nos entités nous utilisons l'extrusion avec l'outil ArcGis Pro. Cette extrusion se fait sur la base d'un champ contenant la valeur de l'élévation pour chaque entité. Cette valeur, a été renseignée préalablement dans la base de données.



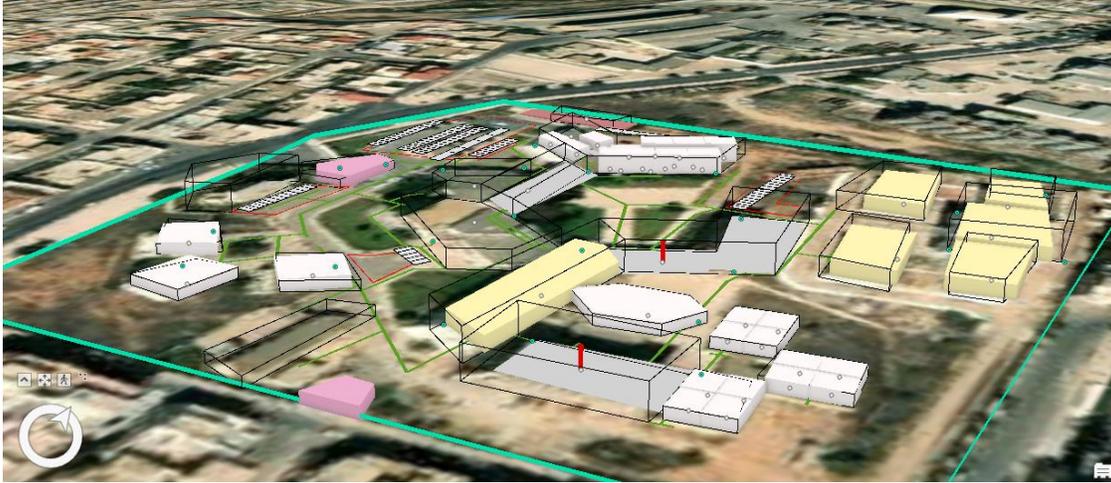
**Figure 13: Configuration de l'extrusion**

Finalement, nous obtenons la scène suivante ou nous allons réaliser nos diverses analyses spatiales.



**Figure 14 :Vue 3D Outdoor**

L'illustration suivante affiche l'infrastructure interne des différents départements de la zone d'étude.



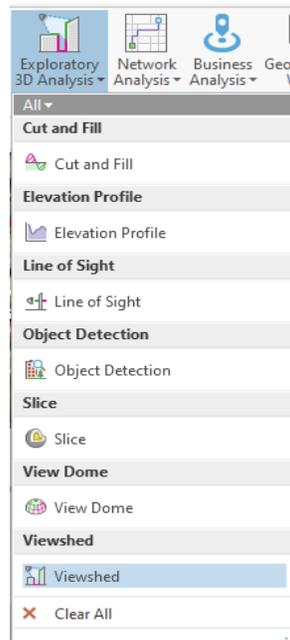
**Figure 15 : Vue 3D Indoor (afficher les différent départements et salles)**

### 3.6 Réalisation des analyses spatiales

Dans Cette Partie, nous nous focalisons sur le paramétrage et l'emplacement de nos capteur IoT qui ont une amplitude 3D, dans notre étude nous avons utilisé les camera et les lampadaires.

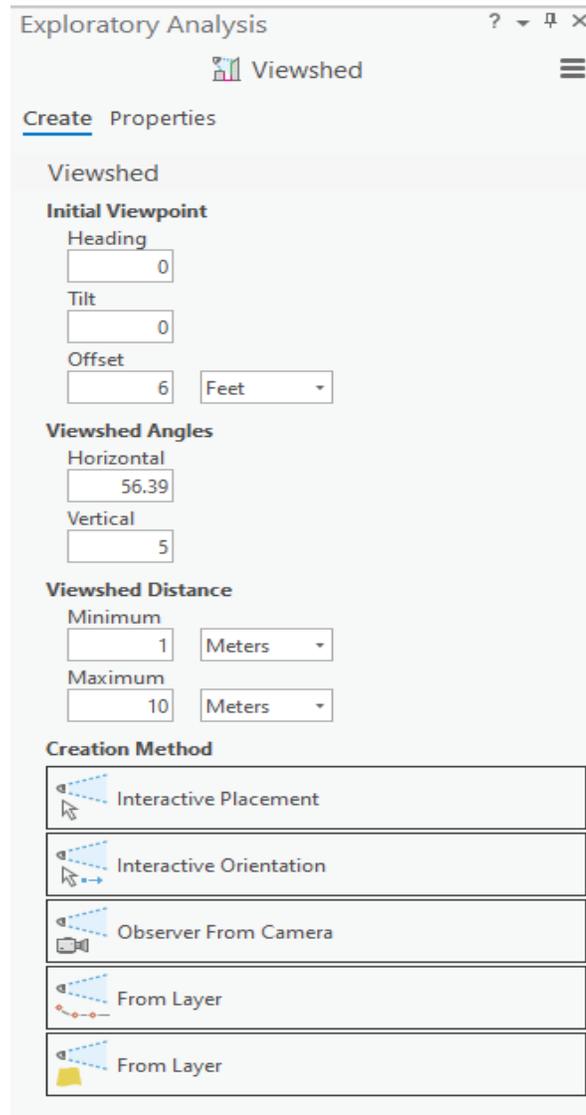
- **Analyse du champ de vision des caméras**

La première analyse concerne l'analyse du champ de vision des caméras. Après avoir sélectionner les caméras installées sur le site de la FSEI, nous activons dans la boîte à outil de ArcGis Pro l'option « ViewShed ».



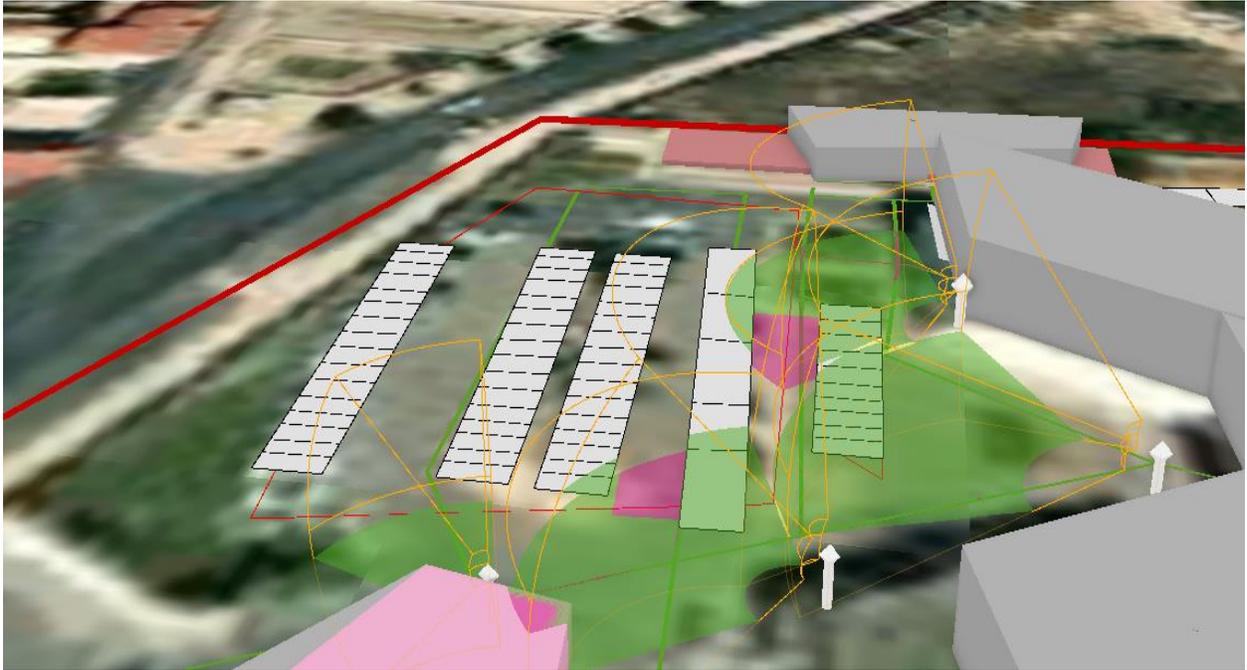
**Figure 16 : Activation d'analyse Cam 3D**

Puis, nous configurons nos entités sélectionnées dans notre scène selon nos besoins (Hauteur, angles, champs de vision ...)



**Figure 17 : Configuration des paramètres des camera**

La figure suivante, illustre les champs de vision obtenus selon le positionnement des caméras sur l'entrée principale de la faculté.



**Figure 18 : Application de l'analyse spatial (camera)**

Nous pouvons déduire à partir du positionnement des cameras les parties visibles et les angles morts.

Dans un cas réel, cette étude permettra de choisir les meilleurs emplacements pour les caméras afin d'avoir les meilleurs champs de vision.

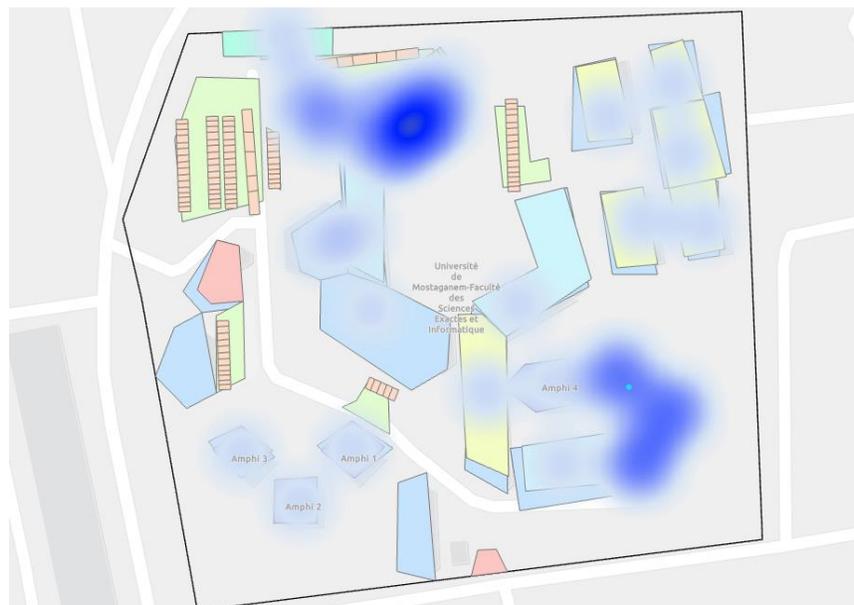
- **Analyse des données des capteurs de température et d'humidité**

Pour réaliser une analyse sur les capteurs IoT de température et de taux d'humidité, nous effectuons une sélection sur tous nos objets dans la zone d'étude et nous configurons la symbologie de nos objets



**Figure 19 : Capteurs d'humidité représentés en 2D**

Après avoir réalisé la sélection sur nos capteurs IoT d'humidité, nous appliquons une symbologie sur cette entité en choisissons celle d'une carte thermique, nous obtenons les résultats illustrés sur la figure suivante.



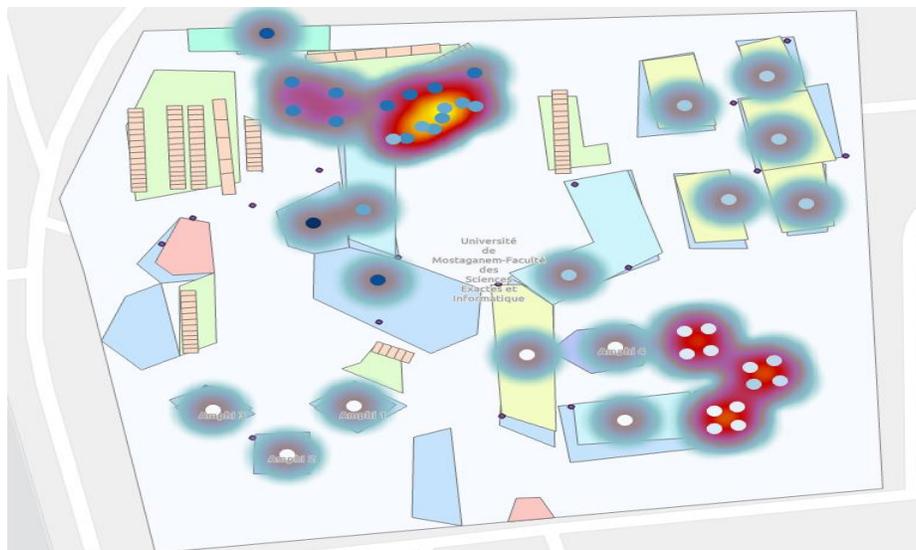
**Figure 20 : Application de l'analyse thermique sur les capteurs d'humidité**

Nous continuons nos analyses spatiales par celle des capteur IoT de température. Nous analysons les températures au sein des différentes salles que contient la faculté. Nous avons obtenu les résultats illustrés dans la figure suivante.



**Figure 21 : Analyse 3D de température**

En dernier, pour tester si la simulation de nos analyses spatiales sont bien correctes, nous réalisons une jointure des deux analyses précédemment utilisées. Nous représentons à la fois, la température et le taux d'humidité car ces deux analyses sont étroitement liées (Lorsque les températures baissent, l'humidité relative augmente.).



**Figure 22 : Comparatif humidité / température**

### **3.7 Conclusion**

A travers ce chapitre nous avons constaté que la réalisation d'un SIG 3D nécessite l'intervention de plusieurs technologies, elle inclue notamment la cartographie et la modélisation 3D. D'autre part, l'IoT, les BIM et les SIG représentent un grand défi de modélisation.

Ainsi, nous avons conclu que l'association des SIG 3D, de l'IoT et des BIM offre un modèle proche de la réalité qui permet d'optimiser la compréhension de divers phénomènes urbains et permet une collecte plus pertinente des données environnementales. Ceci conduit à une meilleure analyse et en conséquence à une meilleure prise de décision.

## **Conclusion générale**

Dans ce projet, nous avons abordé l'utilisation de l'Internet des Objets, des Building Information Model et des Systèmes d'Information Géographiques pour relever les défis environnementaux qui entourent la vie quotidienne des citoyens dans une ville intelligente.

Dans les sections précédentes nous avons décrit les différents axes qui constituent les villes intelligentes. Nous avons abordé l'intérêt de l'intégration des Building Information Model, de l'Internet des Objets et des Systèmes d'Information géographiques pour la modélisation et la gestion des villes intelligentes. Ces techniques permettent une meilleure étude spatiale et numériques, une meilleure acquisition de données et une meilleure maîtrise de l'infrastructure d'une ville intelligente.

Nous avons ensuite présenté une approche permettant la simulation de l'intégration de données issues de l'IoT des BIM et des SIG dans un environnement intelligent. Nous avons pour cela focalisé notre étude sur le site de la faculté des FSEI où nous avons intégré des données réelles et des données simulées pour reproduire un site intelligent.

Nous avons choisi ce site en prenant en considération notre connaissance de notre zone d'étude et la facilité d'acquisition des données.

Nous avons ensuite intégré toutes les données récoltées et les données simulées dans un SIG 2D. Puis nous avons transformé le SIG 2D en SIG 3D pour permettre l'application d'un certain nombre d'analyses spatiales tridimensionnelles.

Ces analyses ont permis de donner de bons résultats concernant la connaissance du site étudié et ont donné un aperçu de ce qu'on pourrait gérer dans un véritable site intelligent.

Comme perspectives, il serait très intéressant d'étendre notre étude à une véritable cité intelligente et d'intégrer des données réelles issues des BIM et de l'IoT pour réaliser des analyses en temps réel.

## Bibliographie

- [1] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376.
- [2] Atzmueller, M., Fries, B., & Hayat, N. (2016). Sensing, processing and analytics: Augmenting the ubicon platform for anticipatory ubiquitous computing. *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*. ACM (pp. 1239–1246).
- [3] Nelson, A., Toth, G., Hoffman, D., Nguyen, C., & Rhee, S. (2017). Towards a foundation for a collaborative replicable smart cities IoT architecture. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Science of Smart City Operations and Platforms Engineering - SCOPE '17* (pp. 63–68). New York: ACM Press.
- [4] W.-F. Chen, and D. Lian. *Bridge engineering handbook: construction and maintenance*, CRC press: Florida, 2014.
- [5] F. Tao, Y. Zuo, L. D. Xu, and L. Zhang. "IoT-based intelligent perception and access of manufacturing resource toward cloud manufacturing," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014, 10(2): 1547-1557.
- [6] Z. Shelby, K. Hartke, C. Bormann, B. Frank, "Constrained Application Protocol (CoAP)", *Constrained Resources (CoRE) Working Group, Internet Engineering Task Force (IETF)*, work in progress, draft-ietf-core-coap-13, 2012.
- [7] International Energy Agency, "CO2 emissions from fuel combustion: Highlights", 2006.
- [8] Adam Dunkels, "uIP-A free small TCP/IP stack", *The uIP 1.0 Reference Manual*, Swedish Institute of Computer Science - SICS, 10.1.1.154.2510, 2006.
- [9] J. Hui, P. Thubert, "Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks", *RFC 6282, Internet Engineering Task Force (IETF)*, ISSN: 2070-1721, 2011.

[10] Saaty, T.L. and Vargas, L.G., 2006. Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. New York: Springer

[11] Shapiro, J.M., 2008. Smart cities: quality of life, productivity, and the growth effects of human capital. The review of economics and statistics, 88 (2), 324335

[12] Abler, R., Adams, J.S., and Gould, P., 1971. Spatial organization: the geographer's view of the world. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

[13] ESRI sur l'utilisation des cartes dans ArcGis, Présentation rapide des couches

[14] Véronique De Laet, GIM Wallonie, Modèles Numériques d'Élévation: une représentation en 3 dimensions de la surface d'un terrain.

[15] Carma Shoemaker March 26, 2019, iot data how to collect process and analyze

-